

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С.Гулого  
Кафедра мехатроніки та пакувальної техніки

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)  
Сергій БЛАЖЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«08» 12 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«08» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 131 Прикладна Механіка  
(код та назва спеціальності)  
освітньо-професійної програми Прикладна Механіка

на тему: Особливості застосування AR-технології для синтезу пакувального обладнання

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 2М

ЯСИЧЕВ Владислав Віталійович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА Людмила  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) незарплатованої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

(підпис)

Київ - 20 24 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого

Кафедра Мехатроніки та пакувальної техніки

Освітній ступінь Магістр

Спеціальність 131 «Прикладна механіка»

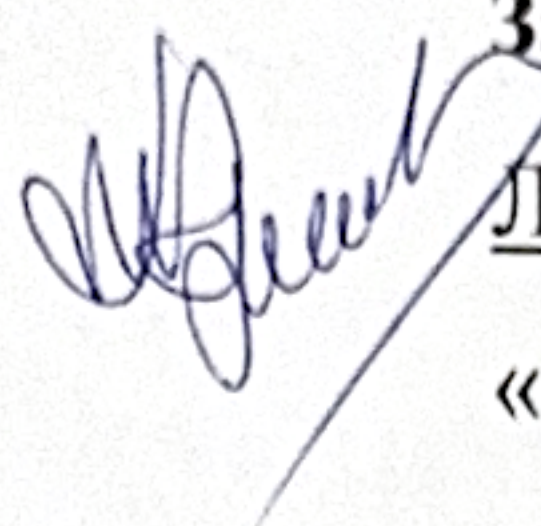
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Прикладна механіка

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ МПТ



Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

« 01 » \_\_\_\_\_ 10 \_\_\_\_\_ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Ясичев Владислав Віталійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Особливості застосування AR-технології для синтезу пакувального обладнання

керівник Кривопляс-Володіна Людмила Олександрівна

( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 01 » 10 2024 року № Р53-КК

2. Строк подання здобувачем роботи 08.12.2024

3. Вихідні дані до роботи 1. Обладнання для візуалізації віртуальної реальності; 2. Вид обладнання – окуляри, джойстик та ПК.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Реферат; Вступ; 1. Аналіз наявних технологій та інтеграції AR в пакувальне обладнання, 2. Розробка та вибір модуля інтеграції AR-технологій, 3.

Експериментальне дослідження ефективності застосування AR-технологій, 4. Охорона праці, Висновки; Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

12 арк (презентації)

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 01.10.2024

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Реферат	16.09.24	Виконано
2	Вступ	17.09.24	Виконано
3	Аналіз наявних технологій та інтеграції ar в пакувальне обладнання	19.04.24	Виконано
4	Висновок до розділу 1	21.09.24	Виконано
5	Розробка та вибір модуля інтеграції AR-технологій	23.09.24	Виконано
6	Висновок до розділу 2	29.09.24	Виконано
7	Експериментальне дослідження ефективності застосування AR-технологій	06.10.24	Виконано
8	Висновок до розділу 3	08.10.24	Виконано
9	Охорона праці	12.10.24	Виконано
10	Висновок до розділу 4	15.11.24	Виконано
11	Вимоги охорони праці	20.11.24	Виконано
12	Висновки	23.11.24	Виконано

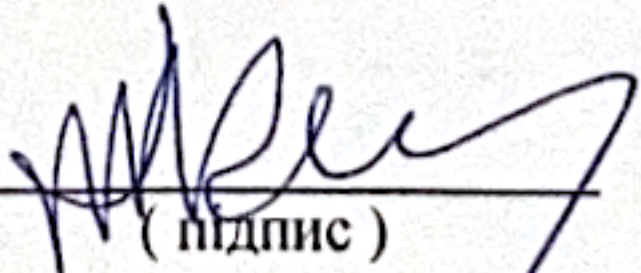
Здобувач

  
(підпис)

Владислав ЯСИЧЕВ

(ім'я та прізвище)

Керівник роботи

  
(підпис)

Людмила КРИВОПЛЯС-ВОЛОДИНА

(ім'я та прізвище)

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	3
ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ AR-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ .....	3
ABSTRACT.....	6
FEATURES OF THE APPLICATION OF AR TECHNOLOGY FOR THE SYNTHESIS OF OF PACKAGING EQUIPMENT.....	6
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАЯВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНТЕГРАЦІЇ AR В ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ.....	10
1.1. Огляд сучасних технологій AR для інженерного проектування і експлуатації пакувального обладнання .....	10
1.2. Аналіз існуючих систем з використанням AR для моделювання пакувального процесу .....	14
1.3. Приклади існуючих рішень .....	15
1.4. Аналіз практичних аспектів використання AR.....	17
Висновок до розділу 1.....	25
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВИБІР МОДУЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ AR-ТЕХНОЛОГІЙ	26
2.1. Принцип дії AR-модулів для візуалізації та управління пакувальним обладнанням .....	26
2.2. Структура AR-модуля для підтримки технологічних процесів .....	27
2.3. Власна пропозиція щодо синтезу пакувального обладнання з інтеграцією AR.....	28
2.4. Обґрунтування вибору обладнання для підтримки AR-технологій .....	33
2.5. Визначення процесу технічного обслуговування.....	45
Висновок до розділу 2.....	49
РОЗДІЛ 3.....	50

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ AR-ТЕХНОЛОГІЙ.....	50
3.1. Загальний опис експериментального середовища для тестування AR .....	50
3.2. Особливості візуалізації та синхронізації AR-систем із пакувальним обладнанням .....	53
Висновок до розділу 3 .....	65
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ .....	67
4.1. Загальні вимоги безпеки при використанні AR у виробничих умовах .....	67
4.2. Аналіз потенційних небезпек при використанні AR.....	68
ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК .....	72
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	74

## РЕФЕРАТ

### ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ AR-ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИНТЕЗУ ПАКУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ

Сучасне виробництво активно інтегрує інноваційні технології, зокрема доповнену реальність (AR), для забезпечення підвищення ефективності, автоматизації та точності технологічних процесів. AR-технології дозволяють створювати інтерактивні моделі, які допомагають інженерам, операторам і технологам оптимізувати виробничі процеси, візуалізуючи дані та полегшуючи прийняття рішень у реальному часі [1-12,14,43].

**Метою дослідження** є аналіз потенціалу застосування AR-технологій для синтезу пакувального обладнання, визначення переваг та обмежень їх використання, а також розробка рекомендацій щодо їх ефективного впровадження.

В ході розроблення обраної теми, сформовані наступні **задачі дослідження**:

1. Провести аналіз сучасного стану розвитку AR-технологій та їх застосування в промисловості.
2. Визначити основні напрямки використання AR в процесі синтезу пакувального обладнання.
3. Оцінити потенційні переваги та ризики застосування AR-технологій на прикладі власнорозроблених компоновок пакувальних модулів.
4. Сформулювати методи впровадження AR-технологій для доповнення експериментальних досліджень пакувальних машин.

Для проведення комплексного дослідження та отримання об'єктивних результатів було застосовано наступний методологічний підхід:

Систематичний літературний огляд: Проведено детальний аналіз наукових публікацій, патентної документації та інших джерел інформації з метою визначення сучасного стану досліджень у галузі застосування AR-технологій в

пакувальній промисловості.

Експертні оцінки: Було проведено опитування фахівців з досвідом роботи в галузі пакувальної промисловості та розробки AR-систем для отримання якісної оцінки потенціалу та перспектив застосування AR-технологій у синтезі пакувального обладнання[22-25].

Аналіз практичних кейсів: Проведено аналіз успішних кейсів впровадження AR-технологій в різних галузях промисловості з метою виявлення кращих практик та визначення можливих напрямків адаптації для пакувальної промисловості.

Розширений варіант з використанням математико-статистичного аналізу, чисельного експерименту та методів тривимірного моделювання:

Для більш глибокого дослідження та отримання кількісних оцінок були додатково використані наступні методи:

Математико-статистичний аналіз: Для обробки отриманих даних було застосовано математико-статистичні методи, такі як кореляційний аналіз, регресійний аналіз та дисперсійний аналіз. Це дозволило виявити статистично значущі зв'язки між різними факторами та оцінити їх вплив на ефективність застосування AR-технологій.

Чисельний експеримент: Було розроблено комп'ютерну модель пакувального процесу з використанням AR-технологій. За допомогою чисельного експерименту було проведено моделювання різних сценаріїв та оцінено вплив різних факторів на продуктивність та якість процесу.

Методи тривимірного моделювання: Для візуалізації та аналізу геометричних характеристик пакувального обладнання та взаємодії з ним віртуальних об'єктів були використані методи тривимірного моделювання. Це дозволило детально дослідити можливості застосування AR для оптимізації геометрії обладнання та покращення його функціональності.

Основи програмування: Для розробки та реалізації AR-додатків були використані сучасні елементи програмування та інструментальні засоби розробки. Це дозволило створити прототипи AR-систем мехатронних модулів

дозування та транспортування харчових продуктів і здійснити їх тестування в реальних умовах.

**Ключові слова:** доповнена реальність (AR), виробництво, синтез, інтерактивність, візуалізація, пакувальне обладнання, математичне моделювання, прототипування.

## **ABSTRACT**

### **FEATURES OF THE APPLICATION OF AR TECHNOLOGY FOR THE SYNTHESIS OF OF PACKAGING EQUIPMENT**

Modern manufacturing is actively integrating innovative technologies, including augmented reality (AR), to improve the efficiency, automation and accuracy of technological processes. AR technologies allow creating interactive models that help engineers, operators, and technologists optimise production processes by visualising data and facilitating real-time decision-making.

The purpose of the study is to analyse the potential of AR technologies for the synthesis of packaging equipment, identify the advantages and limitations of their use, and develop recommendations for their effective implementation. In the course of developing the chosen topic, the following research objectives were formed:

1. To analyse the current state of development of AR technologies and their application in industry.
2. Identify the main areas of AR use in the process of synthesis of packaging equipment.
3. Evaluate the potential benefits and risks of using AR technologies on the example of self-developed packaging module layouts.
4. To develop methods for implementing AR technologies to complement experimental studies of packaging machines.

The following methodological approach was used to conduct a comprehensive study and obtain objective results:

**Systematic literature review:** A detailed analysis of scientific publications, patent documentation, and other sources of information was conducted to determine the current state of research in the field of AR technologies in the packaging industry.

**Expert opinions:** A survey of experts with experience in the packaging industry and the development of AR systems was conducted to obtain a qualitative assessment of the

potential and prospects for the use of AR technologies in the synthesis of packaging equipment.

Analysis of practical cases: An analysis of successful cases of AR technologies implementation in various industries was conducted to identify best practices and determine possible areas of adaptation for the packaging industry.

An extended version with the use of mathematical and statistical analysis, numerical experiment and three-dimensional modelling methods:

The following methods were additionally used to conduct a more in-depth study and obtain quantitative estimates:

Mathematical and statistical analysis: Mathematical and statistical methods such as correlation analysis, regression analysis and analysis of variance were used to process the data obtained. This allowed us to identify statistically significant relationships between various factors and assess their impact on the effectiveness of AR technologies.

Numerical experiment: We developed a computer model of the packaging process using AR technologies. The numerical experiment was used to simulate various scenarios and evaluate the impact of various factors on the productivity and quality of the process.

Three-dimensional modelling methods: Three-dimensional modelling techniques were used to visualise and analyse the geometric characteristics of packaging equipment and the interaction of virtual objects with it. This allowed us to explore in detail the possibilities of using AR to optimise the geometry of the equipment and improve its functionality.

Programming basics: Modern programming elements and development tools were used to develop and implement AR applications. This made it possible to create prototypes of AR systems for mechatronic modules for dosing and transporting food products and test them in real conditions.

**Keywords:** augmented reality (AR), production, synthesis, interactivity,

## ВСТУП

Сучасне виробництво активно інтегрує інноваційні технології, щоб підвищити ефективність, автоматизацію та точність технологічних процесів. Одним із перспективних напрямків є використання технологій доповненої реальності (AR) для проектування, управління та модернізації промислового обладнання, зокрема пакувального. AR-технології дозволяють створювати інтерактивні моделі, які допомагають інженерам, операторам і технологам оптимізувати виробничі процеси, візуалізуючи дані та полегшуючи прийняття рішень у реальному часі [32-35].

Пакувальне обладнання відіграє ключову роль у забезпеченні якості продукції, збереженні її властивостей і зручності транспортування. Проте традиційні підходи до проектування, монтажу та технічного обслуговування обладнання часто мають низку недоліків: складність адаптації до нових умов, високу вартість модернізації, а також значну потребу у кваліфікованих кадрах. Застосування AR-технологій відкриває нові можливості для інтерактивного синтезу та оптимізації пакувального обладнання, знижуючи витрати часу і ресурсів на впровадження інновацій[33].

У даній дипломній роботі розглядаються особливості застосування технологій доповненої реальності для синтезу пакувального обладнання. Основна увага приділяється аналізу існуючих рішень, розробці власного підходу до інтеграції AR у технологічні процеси та оцінці ефективності їх використання. Дослідження має на меті не лише вдосконалити процеси проектування та управління обладнанням, а й продемонструвати нові шляхи підвищення конкурентоспроможності підприємств завдяки інноваційним технологіям.

Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення рівня

автоматизації та цифровізації промислового обладнання, що відповідає сучасним тенденціям індустрії 4.0. Використання AR-технологій дозволяє створити інтерактивне середовище для моделювання, тестування та експлуатації обладнання, знижуючи кількість помилок і витрат у процесі впровадження нових рішень [41-42].

Мета дипломної роботи полягає в розробці методологічного підходу до синтезу пакувального обладнання з використанням AR-технологій і оцінці їхньої ефективності в умовах сучасного виробництва.

Завдання роботи включають:

- аналіз існуючих технологій та рішень з використанням AR у виробництві;
- розробку концепції інтеграції AR у процеси проектування та модернізації пакувального обладнання;
- експериментальне дослідження ефективності використання AR у моделюванні виробничих процесів;
- оцінку впливу AR-технологій на підвищення продуктивності та точності пакувального обладнання.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для створення та вдосконалення систем управління пакувальним обладнанням на базі AR, що дозволить скоротити витрати, оптимізувати ресурси та підвищити якість виробничих процесів.

# **РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ НАЯВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ІНТЕГРАЦІЇ AR В ПАКУВАЛЬНЕ ОБЛАДНАННЯ**

## **1.1. Огляд сучасних технологій AR для інженерного проєктування і експлуатації пакувального обладнання**

Рішення використовувати додатки з доповненої реальності в промисловості - це нова реальність виробництва. Уся інформація показується на смартфоні у вигляді наочної 3D-анімації, відео або зображення, що дасть змогу зменшити час на вивчення робочих інструкцій. AR-інструкція з ремонту обладнання допоможе з'єднати деталі згідно з підказками та правильно їх встановити. Також можна взаємодіяти з 3D-моделями обладнання для навчання, що дасть змогу роздивитися пристрій зсередини та ознайомитися з його частинами і функціоналом [36-37].

Доповнену реальність можна застосовувати на різних етапах виробництва для вирішення будь-яких питань. Використання AR-технології в промисловості:

AR у навчанні персоналу - наочні інструкції для персоналу, а також ефективна підготовка, моделювання та відпрацювання різних ситуацій високого ризику з можливістю багаторазового проходження потенційно небезпечних сценаріїв з метою уникнення виробничих травм, підвищення безпеки та пошкодження обладнання.

AR у проєктуванні - візуалізація креативних рішень зі створення дизайну виробів.

AR у складанні продукції - покрокові рекомендації, що дають змогу працівникові побачити послідовність встановлення і з'єднання, щоб прискорити процес складання і знизити ризик здійснення помилки.

AR-інструкції в обслуговуванні та ремонті обладнання - послідовна інструкція перевірки обладнання, яка показує послідовність діагностування та виправлення будь-яких несправностей і які для цього будуть потрібні інструменти.

AR у логістиці - навігація підприємством або складом, яка дасть змогу розв'язати логістичні завдання, позначити небезпечні ділянки виробництва, а також допомагає в процесі комплектування завдяки відображенню інформації про

розташування продукту на складі.

Використання AR-рішень на виробництві дає такі переваги: підвищення ефективності логістичних процесів, ефективність навчання співробітників, скорочення числа помилок, зменшення браку продукції, скорочення часу робочого циклу, забезпечення безпеки праці, скорочення витрат, підвищення продуктивності праці, підвищення конкурентної переваги [41].

Доповнена реальність (AR) є технологією, яка інтегрує віртуальні елементи у фізичне середовище в реальному часі, що значно розширює можливості інженерного проектування та модернізації виробничих систем. У контексті пакувального обладнання, AR-технології дозволяють створювати інтерактивні моделі, візуалізувати процеси роботи машин та здійснювати віддалене управління.

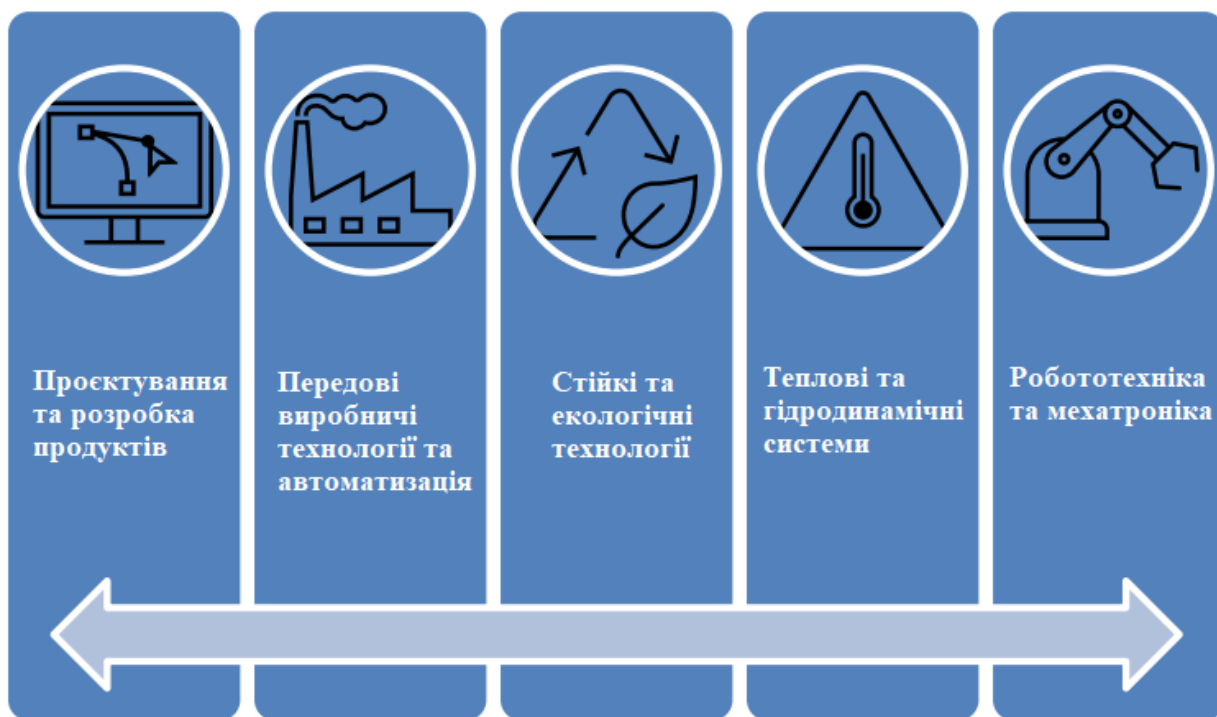


Рис. 1.1.1. Ключові сфери попиту на ринку праці.

### Сучасний стан AR-технологій у промисловості

На сьогодні AR активно застосовується у виробничій галузі, зокрема в таких напрямках:

- Проектування обладнання. Інженери використовують AR для створення тривимірних (3D) моделей пакувальних машин, що дозволяє в реальному часі

візуалізувати конструкцію, оцінити її функціональність та внести корективи ще на етапі проектування.

- Інтеграція нових рішень. AR сприяє швидкому тестуванню та впровадженню змін у конструкцію обладнання без потреби у фізичному створенні прототипів.
- Технічне обслуговування та навчання. Завдяки AR оператори та технічний персонал отримують покрокові інструкції з обслуговування та ремонту обладнання, що знижує рівень помилок [ 44].

### **Технологічні можливості AR для пакувального обладнання**

Використання AR у пакувальній галузі включає такі ключові можливості:

- Моделювання процесів. AR дозволяє візуалізувати роботу обладнання, включаючи рухи пакувальних механізмів, транспортування продукції та нанесення маркування. Це дає змогу виявляти потенційні проблеми ще на етапі планування.
- Оптимізація розміщення. За допомогою AR можна моделювати оптимальні схеми розташування пакувального обладнання в цеху, враховуючи обмеження простору та логістику.
- Реалізація інтерфейсів управління. Віртуальні панелі управління дозволяють операторам взаємодіяти з обладнанням через AR-додатки, отримуючи дані про стан систем у реальному часі.

### **Популярні платформи та інструменти AR**

На ринку представлені різноманітні інструменти для реалізації AR-рішень:

- Unity та Unreal Engine. Використовуються для створення візуалізацій пакувальних процесів і розробки інтерактивних моделей.
- PTC Vuforia. Забезпечує інтеграцію AR у промислові процеси, включаючи створення 3D-моделей і технічної документації.
- Microsoft HoloLens. Дозволяє переглядати віртуальні моделі обладнання в реальному середовищі та взаємодіяти з ними за допомогою жестів або голосових команд.

- TeamViewer Frontline. Використовується для технічного обслуговування та віддаленого управління за допомогою AR [26,41].

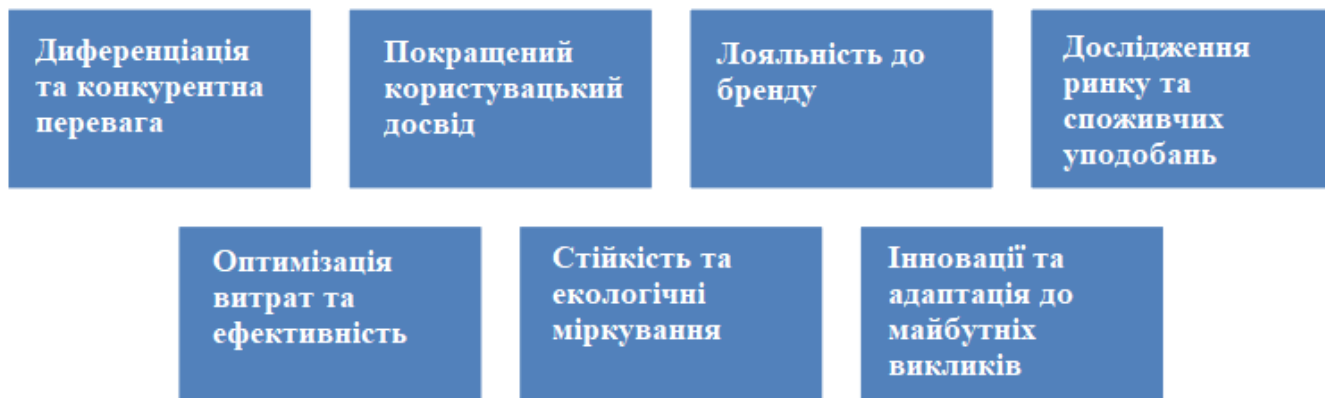


Рис. 1.1.2. Узагальнені вимоги.

### **Переваги застосування AR для пакувального обладнання**

- Зменшення витрат на проектування та тестування. Завдяки віртуальним моделям можна уникнути створення дорогих фізичних прототипів.
- Підвищення точності. AR допомагає інженерам оцінювати відповідність розмірів та функціональності обладнання ще на етапі проектування.
- Прискорення навчання персоналу. AR забезпечує інтерактивний підхід до навчання операторів, що знижує час адаптації до нового обладнання.
- Віддалене управління. Можливість моніторингу та управління пакувальними процесами у реальному часі підвищує гнучкість виробництва.

### **Перспективи розвитку AR у пакувальній галузі**

Технології доповненої реальності активно розвиваються та інтегруються з іншими інноваціями, такими як штучний інтелект (AI) та Інтернет речей (IoT). У майбутньому очікується, що AR стане невід'ємною частиною "розумного виробництва", забезпечуючи ще більшу ефективність та адаптивність обладнання.

У підсумку, AR-технології мають значний потенціал для вдосконалення процесів проектування, інтеграції та експлуатації пакувального обладнання, що сприяє підвищенню його функціональності та економічної доцільності.

## **1.2. Аналіз існуючих систем з використанням AR для моделювання пакувального процесу**

Застосування доповненої реальності (AR) у пакувальній галузі є відносно новим напрямком, однак ця технологія вже демонструє значний потенціал для покращення ефективності виробничих процесів. Завдяки можливості інтерактивної взаємодії між реальними та віртуальними об'єктами, AR дозволяє не лише спростити моделювання процесів, але й підвищити точність роботи обладнання.

### **Основні напрямки використання AR у пакувальних системах**

- *Візуалізація технологічних процесів.* AR дозволяє створювати інтерактивні моделі, які демонструють весь цикл роботи пакувального обладнання: від подачі продукції до її фасування, маркування та транспортування. Це особливо важливо для виявлення вузьких місць у виробничій лінії та оптимізації її функціонування.
- *Моделювання компонентів обладнання.* Використання AR забезпечує точну візуалізацію внутрішніх механізмів пакувальних машин, таких як дозатори, пресувальні елементи та системи конвеєрів. Це допомагає інженерам передбачати можливі збої у роботі та знаходити шляхи їх усунення.
- *Реалізація віртуального тестування.* За допомогою AR можна моделювати сценарії роботи обладнання у віртуальному середовищі, тестуючи різні параметри без потреби у фізичних експериментах. Наприклад, AR дозволяє перевірити, як обладнання поведеться з різними видами упаковки або продукції [14,17,33].

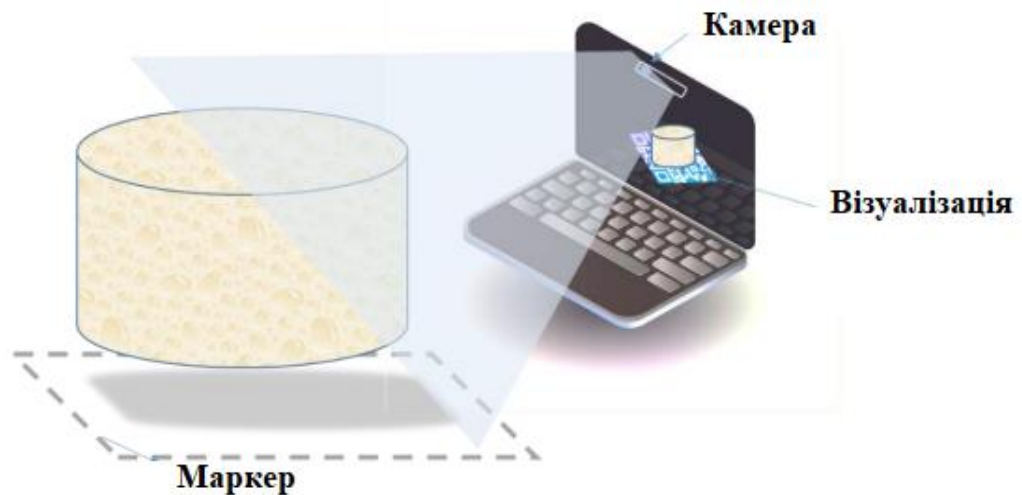


Рис. 1.2.1. Технологія доповненої реальності із використанням сучасного комп'ютера.

### 1.3. Приклади існуючих рішень

- *AR-додатки для технічного обслуговування.* Компанії, такі як Siemens і АВВ, пропонують AR-інструменти для інтерактивного обслуговування пакувального обладнання. Ці додатки дозволяють операторам переглядати внутрішні компоненти машин у реальному часі, отримуючи детальні інструкції з ремонту або заміни деталей.
- *Системи інтерактивного навчання.* AR-технології активно використовуються для навчання персоналу. Наприклад, компанія Tetra Pak розробила AR-системи, які в інтерактивній формі пояснюють принципи роботи пакувальних ліній, скорочуючи час навчання та знижуючи ризик помилок.
- *Інтеграція AR у виробничі процеси.* Такі інструменти, як Microsoft HoloLens або Epson Moverio, застосовуються для віддаленого моніторингу стану пакувальних ліній. Оператори можуть бачити віртуальні підказки, що відображають ключові показники продуктивності та попередження про можливі збої.



Рис. 1.3.1. Приклад формування AR об'єкту у просторі на основі QR коду

### **Технічні особливості інтеграції AR**

Інтеграція AR-технологій у пакувальні системи вимагає використання відповідного апаратного забезпечення (окуляри доповненої реальності, планшети, смартфони) та програмного забезпечення для створення віртуального контенту. Основні аспекти включають:

- *Розпізнавання об'єктів.* AR-системи повинні точно ідентифікувати пакувальні машини, їх компоненти та продукцію.
- *Синхронізація з обладнанням.* Необхідно забезпечити інтеграцію AR-рішень з датчиками, камерами та іншими пристроями, які контролюють роботу лінії.
- *Адаптація інтерфейсу.* AR-інструменти мають бути зручними для використання, навіть у складних виробничих умовах (погане освітлення, шум).

## **Переваги використання AR у пакувальних системах**

1. Зменшення витрат. AR дозволяє скоротити витрати на фізичне тестування та розробку прототипів.
2. Прискорення розробки. Інтерактивне моделювання скорочує час проектування обладнання та його інтеграції у виробничі лінії.
3. Покращення безпеки. AR-технології допомагають виявляти ризики та аварійні ситуації ще до запуску обладнання в реальній експлуатації.
4. Підвищення точності. Віртуальні моделі забезпечують високу точність налаштувань, що особливо важливо для складних систем.

### **1.4. Аналіз практичних аспектів використання AR**

Попри очевидні переваги, існують також обмеження у впровадженні AR у пакувальні системи:

1. Висока вартість. AR-рішення все ще залишаються дорогими, що обмежує їх доступність для малих і середніх підприємств.
2. Необхідність високої кваліфікації персоналу. Інженери та оператори повинні мати навички роботи з AR-інструментами.
3. Сумісність із існуючим обладнанням. AR-системи потребують налаштування для інтеграції з уже встановленими машинами.

*Доповнена або розширена реальність (Augmented Reality, AR)* має значний потенціал для підвищення ефективності виробничих процесів. Особливо це стосується складних завдань, таких як заміна компонентів чи технічне обслуговування. Завдяки AR можлива суттєва економія часу і ресурсів. Попри те, що вартість впровадження все ще залишається високою, технології стрімко розвиваються, а доступні рішення постійно вдосконалюються [23,26,37]. Для

успішного використання AR важливою умовою є наявність гнучкої, потужної та відкритої платформи для управління на місцях. [1,42]

Сучасні технології автоматизації стають дедалі більш інтелектуальними, що дозволяє підвищити продуктивність виробництва та збільшити пропускну здатність. Разом із цим клієнти все частіше вимагають індивідуалізованих продуктів, що призводить до зменшення розміру виробничих партій. Це, у свою чергу, змушує проводити переналаштування машин декілька разів на день, що збільшує обсяги робіт з технічного обслуговування. Робота з високотехнологічними машинами потребує висококваліфікованих фахівців, але навіть вони не можуть виконувати завдання без докладних інструкцій чи технічних схем. Варто також зазначити, що дефіцит кваліфікованих кадрів у цій сфері стає дедалі гострішою проблемою.

Є також практична проблема, яка часто виникає під час обслуговування чи модернізації машин: працівнику бракує "третьої руки", адже для використання інструкцій чи схем їх потрібно тримати або розташовувати поруч. Навіть найдетальніші посібники вимагають просторового мислення, оскільки креслення часто не збігаються з реальним обладнанням. Усе це в результаті витрачає час і знижує загальну продуктивність.



Рис. 1.4.1. Використання AR у тестуванні пакувальних процесів

*Проектування для виробництва* (Design for Manufacturing, DFM) є важливим аспектом процесу розробки продукту, який спрямований на оптимізацію конструкції для забезпечення ефективного та економічно вигідного виробничого процесу. Основна мета DFM полягає у спрощенні виробництва, зниженні витрат, підвищенні якості продукції та скороченні часу виходу на ринок[3]. У рамках інженерної освіти дуже важливо ознайомлювати студентів із цією методикою, оскільки вона:

Спрощує виробничі процеси шляхом врахування можливостей та обмежень технологій виробництва ще на ранніх етапах проектування.

- Оптимізує виробництво та зменшує матеріальні витрати завдяки правильному вибору матеріалів і стандартизації.
- Спрямована на розробку продуктів для простого складання, що зменшує складність конструкцій і знижує витрати на монтаж.
- Мінімізує виробничі дефекти та покращує якість продукції шляхом аналізу допусків і оптимізації конструкції.
- Забезпечує економічно вигідне виробництво, враховуючи витрати на інструменти, робочу силу та матеріали.
- Забезпечує тестованість та якість, що підвищує надійність продукції та задоволеність клієнтів.
- Сприяє співпраці між конструкторами та виробниками для підвищення ефективності виробництва та забезпечення плавного переходу від розробки до серійного виробництва.

DFM є потужним інструментом, який допомагає не лише зменшити виробничі витрати, але й створити продукт із високою якістю, відповідний вимогам ринку та потребам споживачів.

### *Прискорення процесів за допомогою AR*

Технологія доповненої реальності (AR) є ідеальним рішенням для скорочення часу, необхідного на технічне обслуговування та переналаштування обладнання, а також для зниження залежності від висококваліфікованих спеціалістів. AR доповнює реальний світ віртуальними елементами високого рівня, створюючи інтерактивне середовище. За допомогою зовнішніх та глибинних камер, вбудованих в AR-окуляри, реальні поверхні скануються, реконструюються, а потім на них накладається голографічне зображення. [2]

Наприклад, AR-технологія може автоматично розпізнати обладнання для лиття під тиском та його компоненти, коли на них спрямовано камеру. Завдяки тривимірному аналізу, інформація та віртуальні накладки динамічно підлаштовуються під кут огляду користувача. Таким чином, дивлячись на машину через AR-окуляри, технік отримує доступ до актуальних виробничих даних, попереджень, інструкцій з обслуговування чи планів щодо заміни компонентів. І це ще не все. Окуляри можуть не лише виводити інформацію у реальному часі, але й віртуально "зазирнути" всередину машини, демонструючи працівникові, які компоненти чи інструменти потребують заміни, де вони розташовані та як саме їх встановлювати [22,28,38,41].

Завдяки цьому технік може виконувати всі необхідні дії, маючи перед очима послідовність операцій, що значно зменшує потребу у тривалому вивченні інструкцій. Для доступу до таких даних відкриті системи управління можуть забезпечити прозорість та легкий доступ до інформації з обладнання. Важливо зазначити, що ці системи також забезпечують зв'язок між традиційними виробничими платформами, сучасними технологіями та майбутніми розробками, такими як AR, створюючи інтегроване й ефективне виробниче середовище.

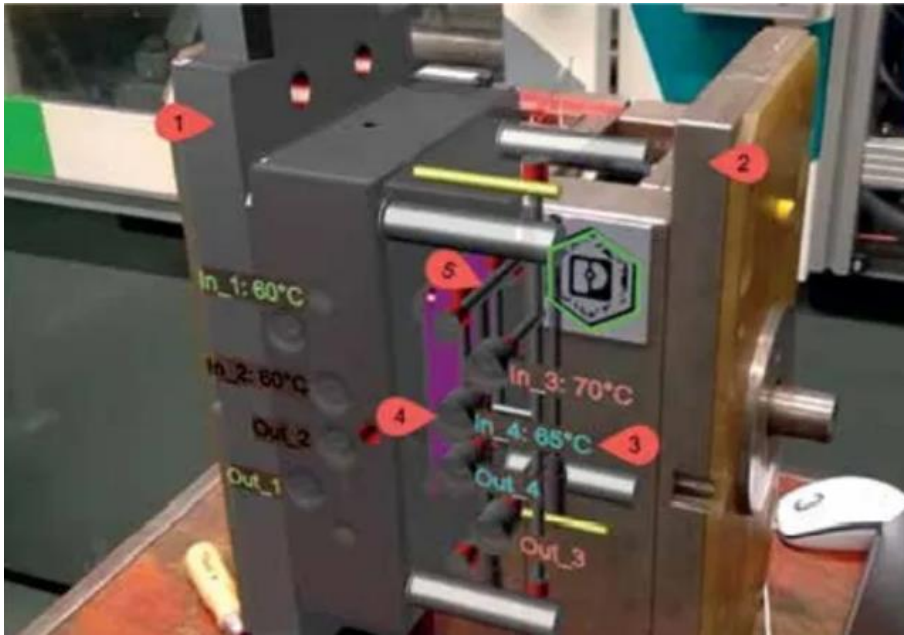


Рис. 1.4.2 Приклад роботи з технічного обслуговування , який прискорює процес.



Рис. 1.4.3 Демонстрація роботи AR з використанням Microsoft HoloLens.

### *Значний прогрес AR завдяки HoloLens*

Значного прориву у впровадженні технологій доповненої реальності досягнуто завдяки HoloLens від Microsoft. Жоден інший пристрій AR не отримав такого швидкого визнання, що частково пов'язано з тим, що багато компаній вже активно користуються платформами Microsoft. Наприклад, Mercedes-Benz застосовує HoloLens як засіб для навчання персоналу та інструмент для продажів, а Honeywell використовує AR для вдосконалення професійної підготовки та залучення працівників, скорочуючи час навчання приблизно на 60%. PHOENIX CONTACT впроваджує окуляри в управлінні

приміщеннями для технічного обслуговування й ремонту, а Thyssenkrupp інтегрує доповнену реальність для обслуговування ліфтів. Згідно з польовими випробуваннями, час виконання ремонтних робіт зменшився в чотири рази.

Ці приклади яскраво ілюструють величезний потенціал AR. Основною перевагою є економія часу: технічним спеціалістам більше не потрібно витратити години на пошук інструкцій чи посібників. Вони отримують чіткі вказівки, накладені на реальні об'єкти, або ж віддалено керуються експертом. Завдяки цьому значно зменшується потреба у попередній підготовці, а друкована документація поступово стає зайвою. Натомість, AR забезпечує оптичне накладання, дозволяючи одразу співставляти CAD-моделі з реальним обладнанням чи деталями.

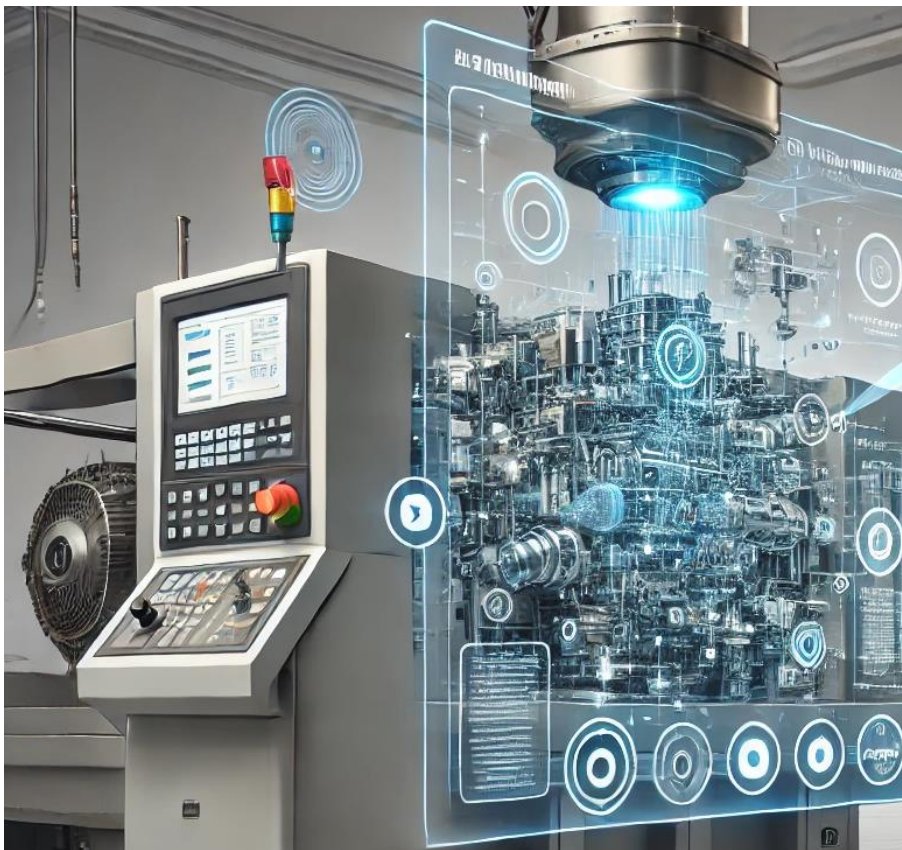


Рис. 1.4.4. Використання AR для обслуговування машин.

#### *Обслуговування обладнання через AR*

Технології доповненої реальності також значно підвищують ефективність виконання щоденних виробничих завдань безпосередньо на обладнанні. Наприклад, форми для лиття під тиском повинні регулярно замінюватися для виготовлення різних типів продукції. У цьому процесі працівники демонтують форму, замінюють її

компоненти та збирають її знову. Крім того, виробник прес-форм одразу проводить технічне обслуговування: очищення, змащення поверхонь та перевірку герметичності каналів охолодження. Подібні процедури застосовуються і до інших типів обладнання під час переналаштування для нових виробів. [5]

На практиці більшість виробничих компаній користуються простими 2D-кресленнями та номерами деталей для переналаштування. Однак для молодосвідчених працівників цього недостатньо, адже послідовність дій часто не пояснюється. Також інструкції з обслуговування рідко доступні, оскільки підприємства покладаються на знання виробників інструментів. Працівники не можуть виконати налаштування без детальних вказівок, навіть маючи всі необхідні ресурси. Завдяки AR-програмам співробітники можуть здійснювати переналаштування або обслуговування без глибоких знань про конструкцію форми. За результатами випробувань, цикл відновлення прес-форми на машині для лиття під тиском можна скоротити з двох годин до 90 хвилин завдяки використанню AR. Помилки, як-от неправильне підключення каналів регулювання температури, які раніше займали багато часу на виправлення, також можна уникнути.

Використання AR дозволяє забезпечити всі необхідні документи безпосередньо під час роботи з обладнанням. Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс зменшує ризик помилок, спрощує роботу та значно скорочує час, витрачений на пошук інформації [42,43].

#### *Виклики впровадження AR*

Проте впровадження AR вимагає значних зусиль, особливо на етапі створення програм. Наприклад, за допомогою CAD-програм можна створювати 3D-об'єкти та анімацію, інтегрувати їх в редактори ігор, програмувати для взаємодії та формувати додатки. Цей підхід відкриває великі можливості, але потребує високого рівня навичок програмування та займає багато часу. Також додатки AR повинні мати автоматизовані інтерфейси для обміну даними з системами управління життєвим циклом продукції (PLM), управління даними про вироби (PDM) і виконання виробничих процесів (MES).

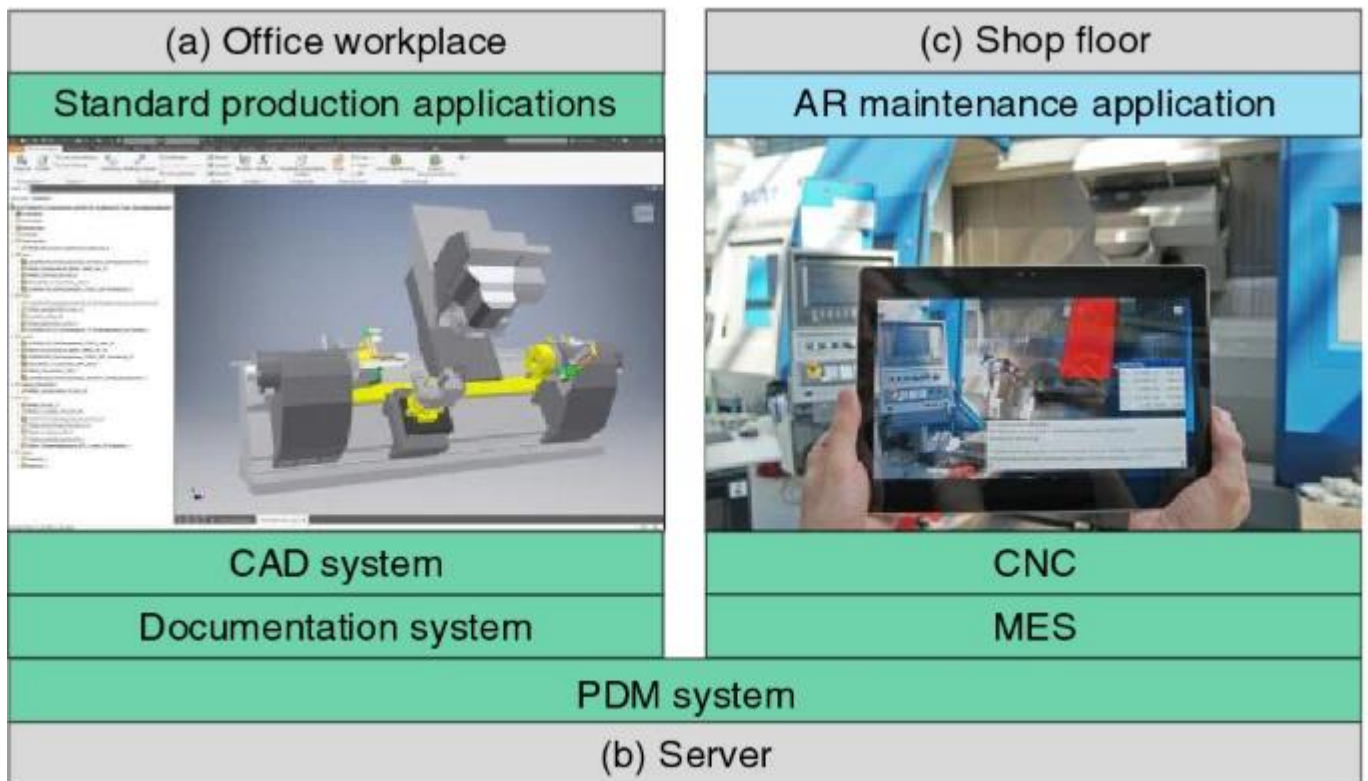


Рис. 1.4.5 Інтеграція платформ AR у виробничі процеси.

#### *Платформи для AR*

Для спрощення створення AR-додатків розробники пропонують готові платформи, такі як Vuforia від PTC. Інша платформа — AR AcRoSS, розроблена в рамках програми "Smart Service Welt", фінансованої Федеральним міністерством економіки Німеччини, — спрямована на створення багаторазових модулів для AR. Завдяки цьому навіть малі та середні підприємства можуть створювати інтегровані послуги AR із окремих модулів, адаптованих до їхніх потреб, економно та ефективно.

Такі платформи дозволяють запитувати, обмінюватися та синхронізувати дані між AR-пристроями, виробничими й логістичними системами, а також внутрішніми додатками компаній, забезпечуючи злагоджену взаємодію всіх компонентів.

## Висновок до розділу 1

У першому розділі було проведено аналіз сучасних технологій доповненої реальності (AR) та їх застосування у сфері інженерного проектування і пакувального обладнання. Дослідження продемонструвало, що AR-технології мають значний потенціал для оптимізації виробничих процесів, спрощення роботи з обладнанням та підвищення продуктивності підприємств.

В ході аналізу існуючих систем AR сформоване наступне:

- Виявлення ключових переваг AR-технологій: вони дозволяють ефективно моделювати технологічні процеси, покращувати точність проектування, спрощувати монтаж та обслуговування обладнання.
- Аналіз існуючих рішень: приклади застосування AR у реальних виробничих процесах, таких як навчання персоналу, технічне обслуговування машин і оптимізація роботи пакувальних ліній, показали значне скорочення часу та витрат.
- Оцінка технічних можливостей: завдяки інтеграції AR з сучасними платформами та програмним забезпеченням можна створювати динамічні, адаптивні та взаємодіючі системи, що відповідають вимогам індустрії 4.0.

Разом із цим, визначено деякі виклики у впровадженні AR, зокрема високу вартість технологій, необхідність у кваліфікованому персоналі та потребу в адаптації обладнання до нових стандартів. Однак ці обмеження поступово зменшуються завдяки розвитку програмних рішень, таких як платформи Vuforia та AR AcRoSS.

Таким чином, сучасний етап розвитку AR-технологій відкриває можливості для вдосконалення пакувального обладнання та виробничих процесів. Отримані висновки стануть основою для подальшого вивчення можливостей інтеграції AR у проектування та експлуатацію пакувального обладнання в наступних розділах роботи.

## **РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ТА ВИБІР МОДУЛЯ ІНТЕГРАЦІЇ AR-ТЕХНОЛОГІЙ**

### **2.1. Принцип дії AR-модулів для візуалізації та управління пакувальним обладнанням**

*Моделювання у візуалізації інженерних продуктів.* Застосовуючи комп'ютерні моделі, інженери та дизайнери можуть моделювати роботу інженерних продуктів у різних експлуатаційних умовах. Моделювання спроектованих продуктів і складних систем надає додаткову інформацію інженерам, що дозволяє вносити корективи ще на етапі проєктування. Методи моделювання охоплюють широкий спектр, включаючи такі ключові напрямки:

*Аналіз методом скінченних елементів (FEA).* Аналіз методом скінченних елементів є числовою технікою моделювання, яка використовується для аналізу структурної поведінки продуктів під різними навантаженнями. Цей метод дозволяє візуалізувати напруги, деформації, зсуви та інші критичні фактори у вигляді кольорових карт або контурних графіків. FEA допомагає інженерам оптимізувати конструкції, виявляти слабкі місця та забезпечувати надійність продукту [33-43].

*Обчислювальна гідродинаміка (CFD).* Методи обчислювальної гідродинаміки застосовуються для аналізу потоку рідин і теплопередачі в інженерних продуктах. Техніки візуалізації, такі як лінії струму, вектори швидкості та температурні контури, допомагають інженерам зрозуміти поведінку рідини всередині продукту, оптимізувати теплове управління та покращувати продуктивність.

*Моделювання руху.* Програмне забезпечення для моделювання руху дозволяє інженерам аналізувати кінематику та динаміку рухомих частин у продукті. Візуалізація руху механізмів дає змогу виявляти інтерференцію, зіткнення чи будь-яку небажану поведінку. Анімації та графіки дозволяють оцінювати такі фактори, як швидкість, прискорення, сили та моменти.

Ці методи моделювання забезпечують детальне уявлення про функціонування продуктів, дозволяють усувати потенційні недоліки та досягати оптимальної продуктивності на етапі проектування, значно знижуючи ризики і витрати на подальших стадіях виробництва.

Технології доповненої реальності (AR) стали важливим інструментом для візуалізації, оптимізації та управління пакувальними системами. В основі роботи AR-модулів лежить інтеграція цифрових даних із фізичними об'єктами, що дозволяє створювати інтерактивні інструменти для підтримки виробничих процесів. У цьому підрозділі розглянуто принципи функціонування AR-модулів, їхні ключові елементи та роль у роботі пакувального обладнання. [8]

## **2.2. Структура AR-модуля для підтримки технологічних процесів**

### **1. Датчики та камери.**

- Датчики захоплення руху, глибини та положення використовуються для точного розпізнавання об'єктів у реальному середовищі. Камери високої роздільної здатності сканують робоче місце та обладнання, створюючи 3D-модель у реальному часі.

### **2. AR-пристрої.**

- AR-окуляри (наприклад, Microsoft HoloLens, Magic Leap) забезпечують інтерактивну візуалізацію інформації, яка накладається на реальні об'єкти.
- Планшети та смартфони використовуються як альтернативні інструменти для перегляду AR-контенту.

### 3. Програмне забезпечення.

- Інструменти, такі як Vuforia або Unity, дозволяють створювати AR-додатки для візуалізації пакувального процесу, моніторингу обладнання та керування системами.
- Програмне забезпечення інтегрується з виробничими системами (MES, ERP, SCADA) для отримання даних у реальному часі.

### 4. Обчислювальні платформи.

- Сервери чи хмарні обчислення обробляють дані, генеруючи візуалізацію для користувачів. Використання хмарних технологій дозволяє масштабувати AR-рішення для великих виробничих ліній.

## **2.3. Власна пропозиція щодо синтезу пакувального обладнання з інтеграцією AR**

- Сканування середовища. Камери AR-пристроїв захоплюють дані про фізичне середовище, зокрема координати об'єктів, розташування пакувальних машин та деталей. Інформація передається на обчислювальну платформу для аналізу.
- Розпізнавання об'єктів. За допомогою алгоритмів машинного навчання система ідентифікує компоненти обладнання, зони обслуговування та робочі процеси.
- Візуалізація. На основі отриманих даних створюється голографічна модель. Наприклад:
  - Відображення внутрішніх механізмів пакувального обладнання.
  - Накладання віртуальних інструкцій або підказок на реальні об'єкти.
- Інтерактивне управління. Оператор взаємодіє з AR-модулем через голосові команди, жести або сенсорний екран. Наприклад, AR може дозволяти змінювати параметри машини, перевіряти стан окремих компонентів чи запускати тестові сценарії.
- Моніторинг у реальному часі. AR-модулі забезпечують доступ до даних про

роботу обладнання в реальному часі: продуктивність, рівень завантаження, помилки або попередження. Це дозволяє оперативно реагувати на будь-які збої чи проблеми.

Етапи створення маркерної AR-технології

#### 1. Генерація QR-коду

Першим етапом є створення QR-коду, який використовуватиметься для інтеграції віртуального об'єкта в реальний простір. Для цього можна скористатися онлайн-генераторами QR-кодів. У код необхідно закласти інформацію, яка дозволить активувати віртуальний об'єкт. Це може бути посилання на веб-ресурс, графічний файл або відеоконтент.

#### 2. Розробка віртуального об'єкта

На наступному етапі створюється віртуальний об'єкт, який буде демонструватися при скануванні QR-коду. Цей об'єкт може бути у форматі 3D-моделі, графічного зображення чи відео. Для його розробки використовують спеціалізоване програмне забезпечення, таке як інструменти 3D-моделювання, графічного дизайну чи відеоредактори. [11]

#### 3. Налаштування додатка

Після створення QR-коду та віртуального об'єкта необхідно налаштувати програму для їхньої інтеграції. Додаток має розпізнавати QR-коди та відображати пов'язані з ними віртуальні об'єкти у реальному середовищі. Для цього застосовуються бібліотеки та платформи для роботи з AR, які дозволяють створити функціональний і зручний інтерфейс.

#### 4. Перевірка роботи додатка

Після завершення налаштувань проводиться тестування розробленої програми. Перевіряється коректність розпізнавання QR-кодів та відображення віртуальних об'єктів. Для тестування використовують різні пристрої, такі як смартфони або планшети, щоб забезпечити сумісність і стабільність роботи.

Результати застосування маркерної AR-технології на готових елементах обладнання

Коли користувач сканує QR-код за допомогою мобільного пристрою, він бачить віртуальний об'єкт, створений у програмі. Цей об'єкт може бути розташований у будь-якому місці реального простору залежно від інформації, закладеної в QR-код. Наприклад, віртуальний елемент може бути спроектований на стіл, стіну або навіть "зависати" у повітрі (рис. 3).

Маркерна AR-технологія є потужним інструментом, який відкриває широкі можливості для створення інтерактивних рішень. Вона дозволяє проектувати складні технічні вузли та виробничі лінії, використовуючи бібліотеки доповненої реальності. Це дає змогу змоделювати різні компоновки обладнання, оцінити його переваги та виявити недоліки конструкції в масштабах реальних розмірів (рис. 4, рис. 5).

AR-технологія є не лише ефективним інструментом для візуалізації, але й значно скорочує час і витрати на розробку нових рішень, надаючи інженерам змогу тестувати та вдосконалювати конструкції ще на етапі проектування.



Рис. 2.1.1. Накладання на реальний об'єкт (дозатор) гнучкої насадки повністю виготовленої з поліпропілену з портом подвійної спіралі Luer Lock.

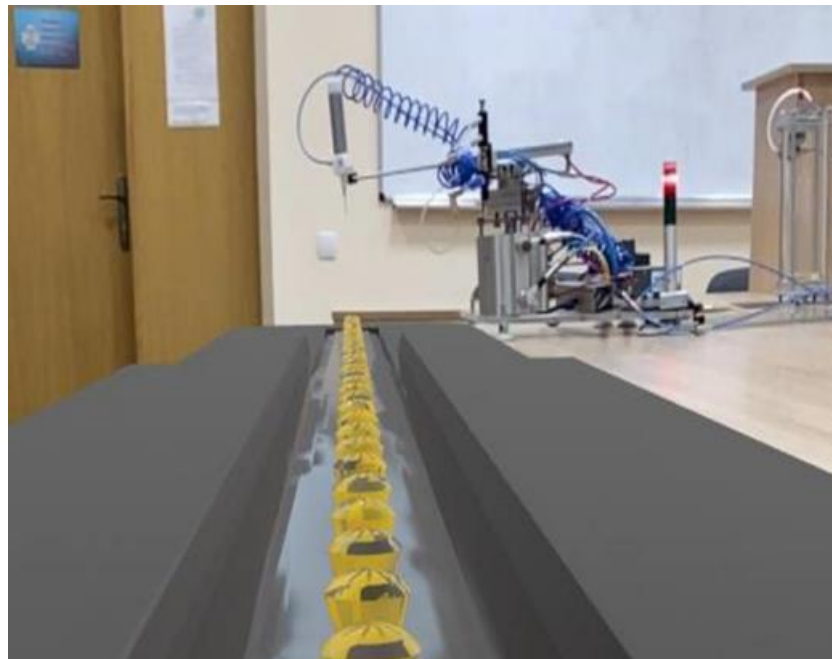


Рис. 2.1.2. Приклад ярлика, не прив'язаного до маркера (візуалізація за допомогою камери смартфона).

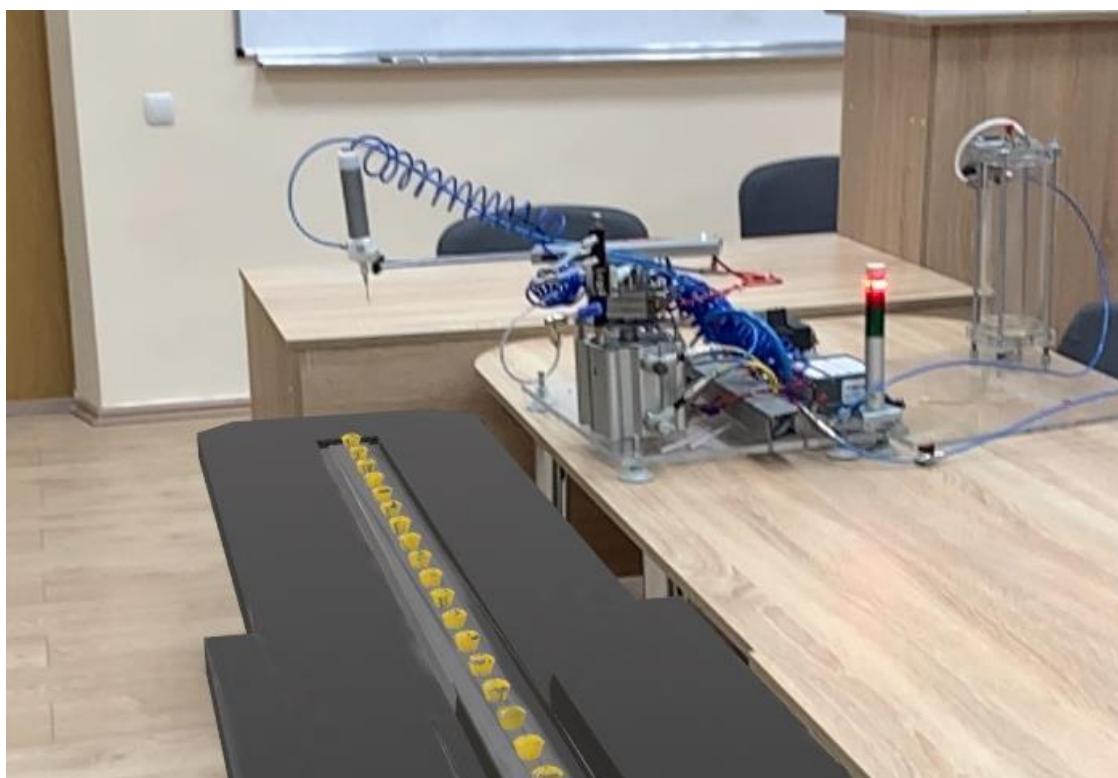


Рис. 2.1.3. Приклад суміщення в системі доповнені реальності AR – конвеєра із дозувально-фасувальним мехатронним модулем.

Розроблення об'єктів доповненої реальності

Для створення AR-об'єктів було використано один із найбільш популярних інструментів для розробки додатків доповненої реальності - Vuforia SDK. Ця платформа - це програмний комплекс, який включає в себе платформу доповненої реальності та інструментарій розробника програмного забезпечення доповненої реальності для використання AR на мобільних пристроях: планшетах, смартфонах і окулярах AR під iOS, Android і Windows. Vuforia SDK інтегрована з "ігровим рушієм" Unity 3D, що значно полегшує розробку ARдодатків Fig. 6. Приклад суміщення в системі доповненлі реальності AR – конвеєра із дозув . Для того, щоб отримати ліцензійний ключ, який буде прив'язаний до проєкту, потрібно пройти реєстрацію на сайті "Vuforia engine". Під час виконання даного проєкту використано допуст для студентів (навчальна вільна версія). Vuforia дає змогу створювати кілька типів міток:

- Single Image - відстеження двовимірного контрастного зображення;
- Cuboid - відстеження зображення на об'єкті кубічної форми;
- Cylinder - відстеження зображення на об'єкті циліндричної форми;
- 3D Object - відстеження фізичного об'єкта

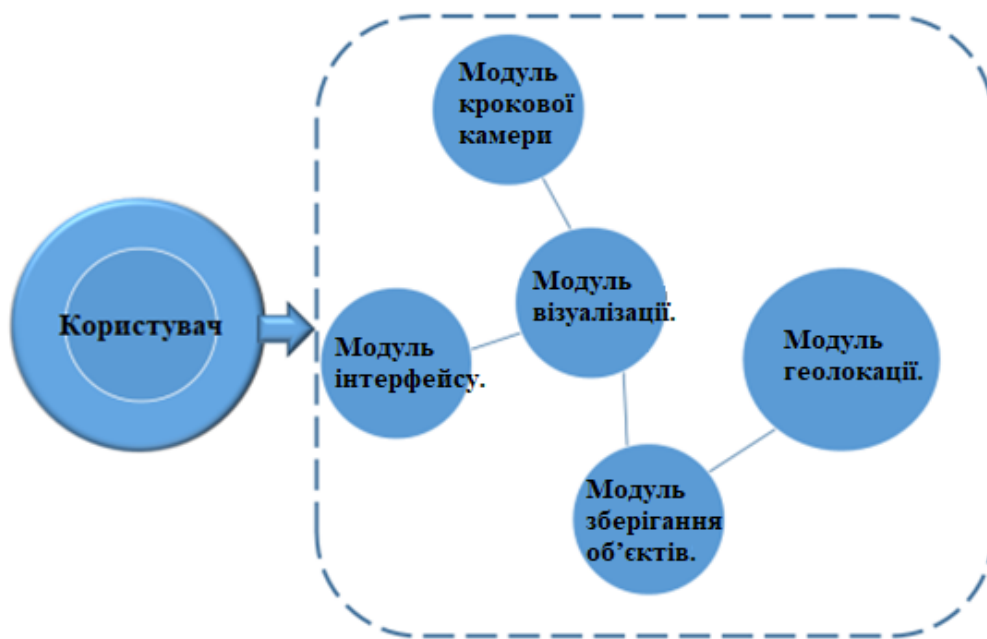


Рис. 2.1.4 Узагальнена структура формування AR-системи у просторі

Для дослідження потрібно використовувати мітки, у нашому випадку - Single Image (плоскі зображення), наприклад, фотографії, картинки, логотипи тощо, оскільки їх легше встановити на елементах обладнання. Зображення-мітку можна створити за допомогою будь-якого зручного додатка для створення зображень.

## 2.4. Обґрунтування вибору обладнання для підтримки AR-технологій

Структура додатка доповненої реальності, який слугує для навігації та візуалізації напрямку до мітки, складається з п'яти основних модулів:

1. Модуль відстеження камери;
2. Модуль зберігання об'єктів;
3. модуль візуалізації;

4. Модуль геолокації;

5. Модуль користувацького інтерфейсу.

Кадри з камери передають у модуль відстеження камери, які після обробки за певними алгоритмами спільно з модулем геолокації обробляють відеопотік: відбувається пошук мітки на місцевості та розрахунок положення камери відносно мітки за допомогою азимутального кута та кутів місця. Коли всі кути визначені й точно відоме положення камери щодо мітки, з модуля зберігання об'єктів на відеопотік розміщується необхідний для візуалізації об'єкт.

Візуалізація відбувається в реальному часі. Структура додатка представлена у Додатках.

Алгоритм працює за таким сценарієм:

1) Відбувається ініціалізація камери.

2) Отримання відеопотоку ініціалізованої камери в реальному часі.

3) Виділення кадрів з подальшою обробкою.

a) Пошук мітки на виділеному кадрі.

b) У разі, коли мітка потрапила в поле зору камери, відбувається її ідентифікація.

c) Мітка не потрапила в кадр - додаток виділяє новий кадр, також якщо маркер не вдалося ідентифікувати, то додаток також повертається до кроку отримання кадру з відеопотоку.

d) У разі успішної ідентифікації мітки запускається алгоритм перетворення віртуальних об'єктів (стрілок і позначки цілі) і позиціонування цього об'єкта.

e) Візуалізація віртуальних об'єктів поверх відеопотоку.

f) Останнім етапом є опитування користувачького

#### *Алгоритм роботи бібліотеки AR*

Далі розв'язували задачу навігації від поточної точки до одного з маркерів з використанням азимутального кута (fig.6). Тут використовується змінна - віртуальний датчик, TYPE\_ROTATION\_VECTOR. Вхідною інформацією для роботи цієї змінної є вихідна інформація з датчиків пристрою (смартфона), а саме: гіроскопа, акселерометра, датчика магнітного поля. І якщо акселерометр є в кожному пристрої, то датчиком магнітного поля (у старих бюджетних телефонах останній найчастіше відсутній). Отже, на старих пристроях кути визначаються не будуть, звідси впливає одне з обмежень використання цієї програми на застарілих смартфонах. [12]

Для того, щоб вивчити вплив AR під час розробки технічних проєктів по обладнанню, були розроблені моделі вузлів, пристроїв, транспортної системи в програмному забезпеченні Inventor Autodesk. Потім імпортовані в середовище AR. Теоретично це можна було зробити за допомогою різних пристроїв. Але в даному проєкті використано Echo3D, щоб відображати віртуальні 3D-об'єкти поверх існуючих фізичних поверхонь. Функції віртуальної реальності, що надаються цим софтом, включають в себе можливість відображати віртуальних об'єктів, покладаючись на інфрачервоні сканери для картографування і розуміння.

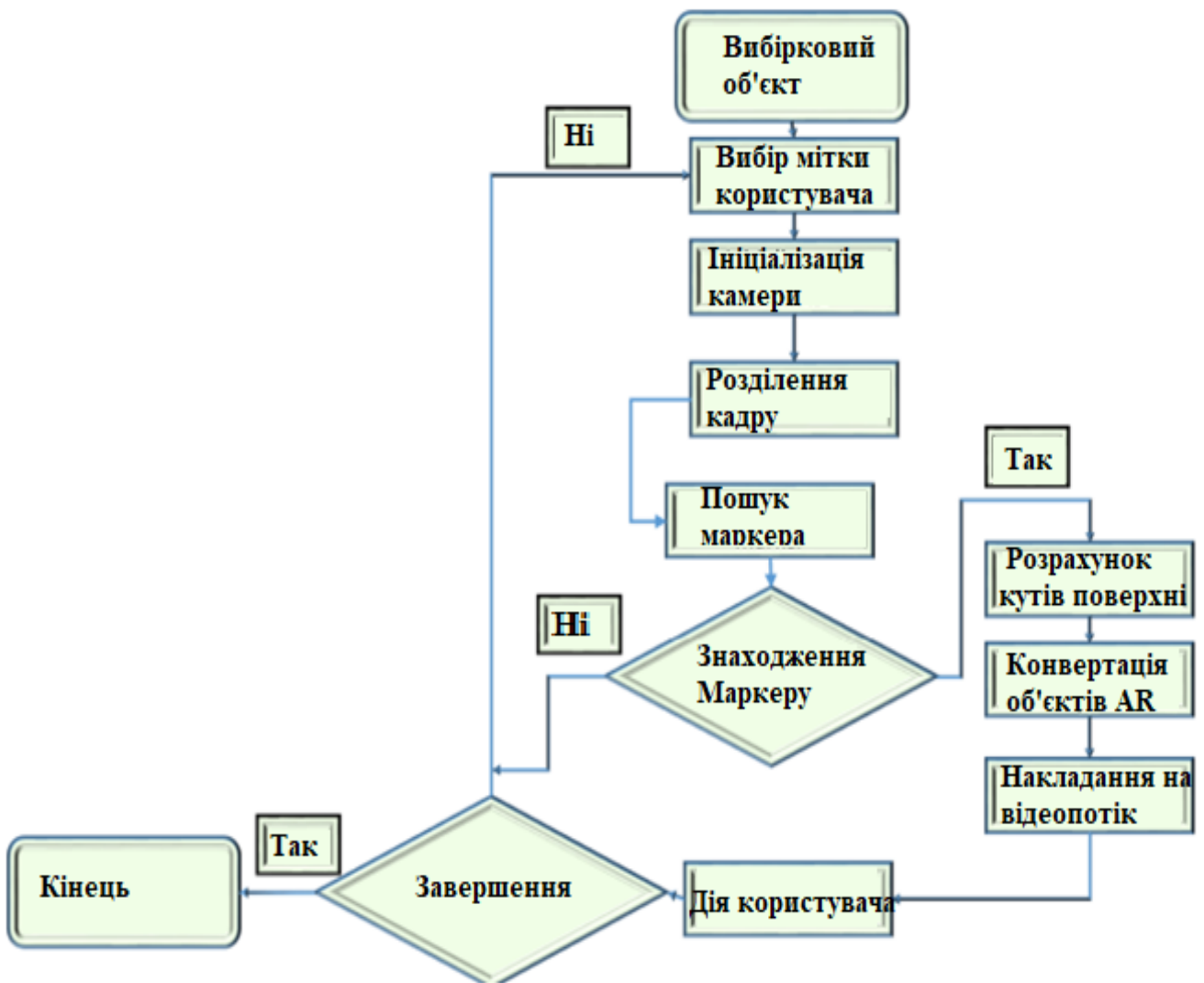


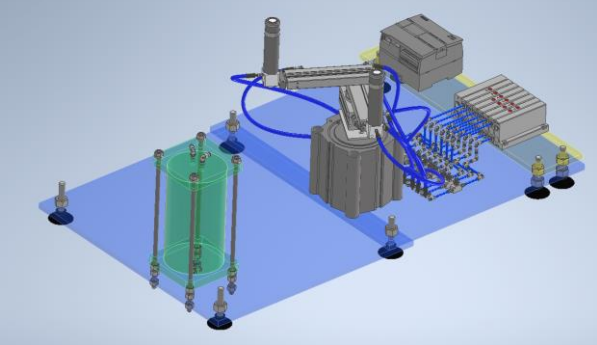

Рис.2.4.1 Загальний алгоритм роботи додатку AR з елементами авторської бібліотеки 3D об'єктів.

Це на місцевості забезпечує стабільну візуалізацію моделі без маркерів. Обраний блок забезпечує роботу в режимі "вільні руки" і не вимагає фізичного підключення до комп'ютера при використанні. Відсутність фізичного підключення до комп'ютера під час використання, дозволило вільно маневрувати у просторі.

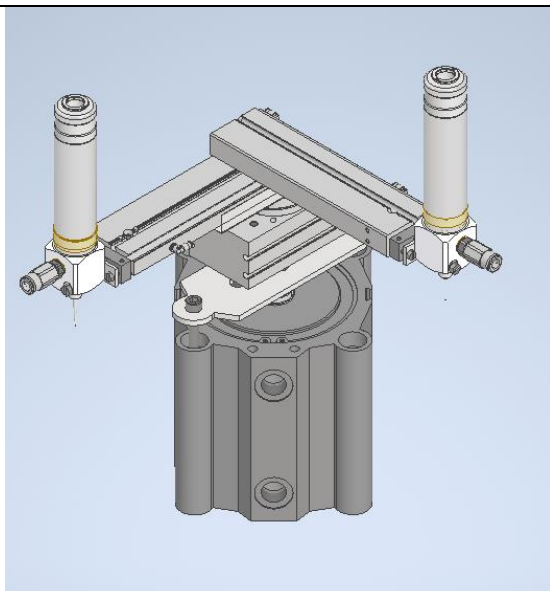
## Характеристика QR кодування на AR моделі, розроблені автором

Загальний вид об'єкту	Формалізований опис	QR - кодування
1	2	3
	<p>На фото конвеєр. Його функціонал:</p> <p><b>Завантаження матеріалів:</b></p> <p>Матеріали або вироби починають свій шлях на конвеєрі, вводяться в систему для подальшої обробки чи переміщення.</p> <p><b>Транспортування:</b></p> <p>Основна функція конвеєра полягає в переміщенні матеріалів вздовж заданого маршруту. Це може включати прямолінійні або криволінійні рухи вгору, вниз, по горизонталі чи під кутом.</p>	

	<p><b>Обробка</b> чи <b>виробництво:</b></p> <p>Конвеєр може включати елементи для обробки матеріалів чи виробів під час їх переміщення, такі як робочі станції для збирання, збірки, фасування, зварювання тощо.</p>	
	<p>Конвеєр з дозувальною установкою є спеціалізованою системою, яка об'єднує функціональність транспортування матеріалів з можливістю точного дозування або вимірювання.</p> <p><b>Транспортування матеріалів:</b> Конвеєр використовується для переміщення</p>	

	<p>матеріалів вздовж заданого маршруту.</p> <p><b>Дозування:</b></p> <p>Установка для дозування визначає точність та кількість матеріалів, які подаються на конвеєр. Це може бути важливим у процесах виробництва, де необхідно дотримуватися певних пропорцій чи кількостей.</p>	
	<p>Дозувальна установка - це обладнання, спроектоване для точного дозування та подачі визначеної кількості матеріалів або речовин.</p> <p><b>Дозування:</b></p> <p>Установка точно визначає та контролює кількість</p>	

	<p>матеріалу, який має бути відділений або виміряний. Це може бути важливим у виробництві, де потрібно дотримуватися конкретних пропорцій чи кількостей складових.</p> <p><b>Подача:</b> Дозований матеріал потім подається у встановлені місця, такі як змішувальні бункери, транспортні лінії, апарати для обробки, або інші процеси виробництва.</p>	
--	---	--



Основна частина установки зроблена з пневмоциліндрів.

Пневмоциліндр - це пристрій, що працює на повітряному тиску і використовується для створення лінійного руху або виконання механічної роботи.

**Рух:**

Пневмоциліндри перетворюють енергію повітряного тиску в лінійний рух. Це досягається за допомогою поршня, який виходить або входить в циліндр відповідно до напруги повітря.

**Споживання енергії:**

Пневмоциліндри є ефективними в зв'язку зі споживанням енергії. Оскільки



	<p>Вони використовують повітряний тиск, їх легко можна ввімкнути та вимкнути, що дозволя</p>	
	<p>Дозуючий пневмоциліндр - це пристрій, який об'єднує в собі функції пневматичного циліндра та дозатора. Його основна функція полягає в точному дозуванні та подачі матеріалів або речовин за допомогою повітряного тиску.</p>	

	<p>Гнучка насадка повністю виготовлена з поліпропілену з портом подвійної спіралі Luer Lock.</p> <p>Вона дозволяє досягти складних місць і може бути обрізані до потрібної довжини.</p>	
	<p>Конічна насадка виготовлений з поліетилену високої щільності з портом подвійної спіралі Luer Lock.</p> <p>Для полегшення дозування рідин середньої та високої в'язкості.</p>	

Застосування нового розробленого методу в різних сценаріях технічного обслуговування демонструє його придатність для технічного обслуговування верстатів. Мета ефективного процесу інтеграції виробничих даних в програми технічного обслуговування на основі доповненої реальності досягається шляхом реалізації визначених властивостей методу.

Використовуючи існуючі вихідні системи (CAD, PDM, системи документації), планувальник технічного обслуговування працює з відомими програмними додатками, не потребує ознайомлення з новими системами і використовує свої знання і досвід [41].

Завдяки використанню існуючих виробничих даних потрібно створювати менше даних, їх не потрібно вручну переносити в нову систему, а оновлення виконуються швидко, оскільки немає необхідності в проміжній системі.

Завдяки інтеграції наявних виробничих систем і даних, автоматизації процесів і шаблонів використання інструкцій з технічного обслуговування створюється орієнтований на користувача і короткий робочий процес.

Автоматизація процесу здійснюється шляхом зменшення полігонів і перетворення формату 3D-моделей, адаптації інтерфейсу користувача AR, а також шляхом підключення та використання доступних виробничих систем і онлайн-даних. Таким чином, процес створення не потребує програмування.

Завдяки впровадженню уніфікованих інтерфейсів додаток доповненої реальності використовується з різними випадками технічного обслуговування, джерелами даних і верстатами.

Надаючи різні компоненти доповненої реальності, додаток використовується з різними пристроями доповненої реальності, що відповідають поточному сценарію використання, наприклад, з різними компонентами візуалізації та взаємодії для планшетних комп'ютерів і HMD [33-34].

Узагальнене порівняння типового попереднього і нового розробленого процесу

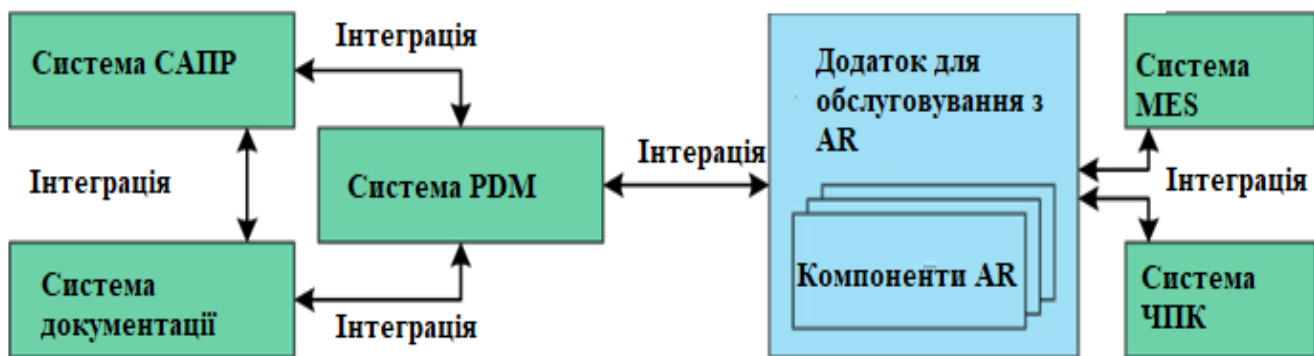


Рис. 2.4.2. Поточний процес інтеграції даних технічного обслуговування на основі AR

## 2.5. Визначення процесу технічного обслуговування

Для розробки методу ефективної інтеграції виробничих даних необхідно визначити процес технічного обслуговування на основі доповненої реальності, як показано на рис. 3. Першим кроком є ідентифікація конкретного верстата шляхом відстеження прикріпленої етикетки за допомогою AR-пристрою. За допомогою відстежуваного номера встановлюється зв'язок з усіма необхідними зовнішніми системами. Тепер інженеру з технічного обслуговування доступні всі завдання з технічного обслуговування. Вибравши потрібне завдання, всі дані візуалізуються крок за кроком, і інженер з технічного обслуговування виконує завдання. Дані включають підготовлену документацію з технічного обслуговування для AR з накладеними 3D-моделями, а також актуальні дані підключених виробничих систем. Це повторюється до тих пір, поки технічне обслуговування верстата не буде завершено.

Нарешті, результати зберігаються в системі для подальшої оцінки. Для процесу технічного обслуговування слід підтримувати різні пристрої доповненої реальності, наприклад, планшетні комп'ютери та HMD, з різними варіантами візуалізації та вимоги до процесу технічного обслуговування на основі ДР та даних, визначені в попередніх розділах, повинні бути враховані при створенні документації з

технічного обслуговування на основі ДР.

Це означає, що багато різних існуючих типів і джерел даних повинні бути інтегровані для створення ефективного і автоматизованого процесу без значних ручних зусиль.

Це включає використання 3D-моделей CAD-системи без ручної конвертації, використання існуючої системи документації без повторного створення інструкцій для системи доповненої реальності, а також використання інтерфейсів з іншими зовнішніми системами, такими як PDM, MES і CNC, щоб розширити документацію на основі доповненої реальності за рахунок додаткової інформації.

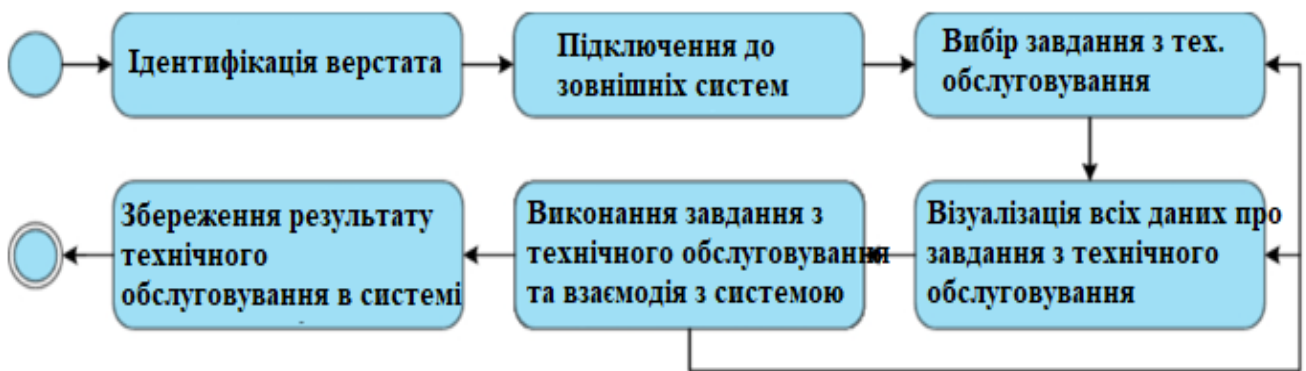


Рис. 2.5.1 Процес технічного обслуговування з використанням AR-додатку

Крім того, вимоги до технології доповненої реальності, наведені в Таблиці 2.4.1, повинні розглядатися без глибоких знань в області доповненої реальності або програмування планувальника технічного обслуговування.

Таблиця 2.2

AR система	Інженер з технічного обслуговування
Тип пристрою Властивості дисплея Властивості камери Властивості зображення з камери Методи взаємодії з користувачем	Інструкції для (роз)збирання компонентів машини Поводження з пристроями Описи таких процесів, як очищення та зварювання Попередження про небезпеку Зовнішні системи та дані,

Тип відстеження Властивості мітки Специфікації візуалізації Інтерфейси до зовнішніх систем Типи даних технічної інформації	наприклад, ЧПК, MES Дії в разі виникнення помилок
--	--

Для реалізації представлених шести фундаментальних властивостей і цілей, показаних у розділі 2 - ілюструє послідовність нового методу для ефективної інтеграції виробничих даних в процес технічного обслуговування на основі доповненої реальності.

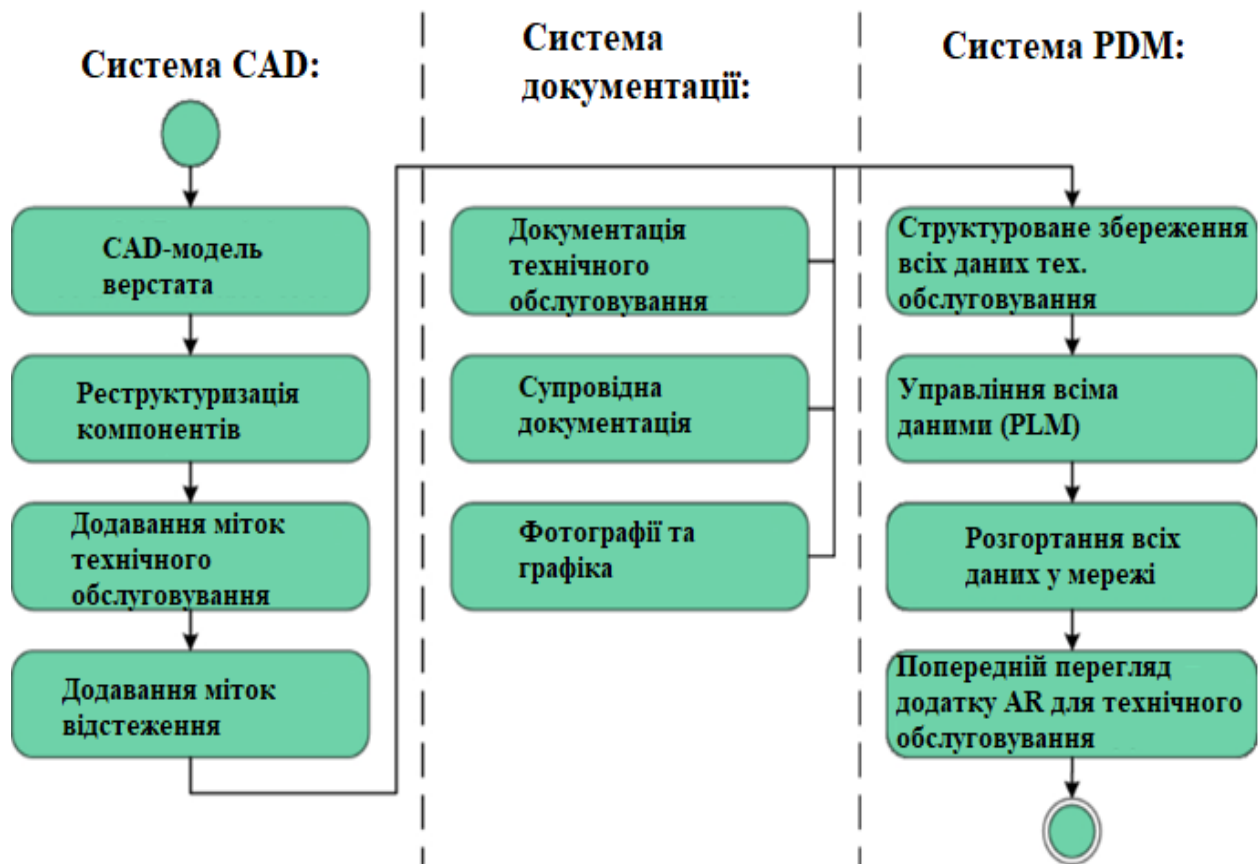


Рис. 2.5.2 Метод для ефективної інтеграції виробничих даних в додатки для технічного обслуговування AR

Початковою точкою є CAD-модель верстата, компоненти якого повинні бути реструктуризовані для виділення або переміщення спеціальних компонентів в залежності від випадку використання обслуговування. Крім того, необхідно додати спеціальні візуальні мітки для виділення завдань технічного обслуговування і відстеження з використанням доповненої реальності. Після експорту 3D-моделі виконується автоматичне зменшення полігонів і перетворення формату, щоб

виключити ручну роботу.

Другим кроком є створення документації з технічного обслуговування за допомогою системи технічної документації. За допомогою цих систем інформація може бути введена планувальником технічного обслуговування за допомогою графічних елементів у зручний для користувача спосіб, але зберігається у структурованому вигляді, як правило, у форматі xml [16]. Структура даних поділяється на основні завдання з технічного обслуговування, які складаються з багатьох окремих кроків, що супроводжуються детальною інформацією, наприклад, описом ручної роботи, матеріалів та інструментів. Крім того, зовнішні дані, наприклад, 3D-моделі, набори даних PDM або ЧПК, додаються за їхніми назвами. Завдяки цим системам технічної документації та структурованому формату даних, документація може бути використана для різних вихідних носіїв, таких як цифрові документи, паперові документи та дані AR. Крім того, для більш детальної інформації можна додавати супровідні документи, фотографії та графіку. Всі створені і необхідні дані для обслуговування зберігаються і управляються в систематизованій структурі в PDM-системі. Додаткові дані PDM, а також конфігурації компонентів AR, MES і ЧПК також зберігаються в системі PDM і пов'язані з документацією з технічного обслуговування.

Для процесу технічного обслуговування PDM-система розгортає всі необхідні дані через мережу до AR-пристрою. Цей пристрій виконує автоматичну адаптацію користувацького інтерфейсу на основі поточного сценарію використання для технічного обслуговування та внесених властивостей пристрою (див. Таблицю 1), розраховуючи графічні елементи та активуючи методи взаємодії. Для перевірки результатів можна отримати попередній перегляд програми доповненої реальності під час процесу планування. [7]

## Висновок до розділу 2

У другому розділі було розглянуто принципи роботи та особливості налаштування AR-модулів для візуалізації та управління пакувальним обладнанням. Проведений аналіз показав, що використання доповненої реальності у виробничих процесах дозволяє суттєво підвищити ефективність роботи обладнання, оптимізувати процеси налаштування та обслуговування, а також знизити залежність від традиційних підходів до навчання і технічної підтримки.

Основні результати розділу:

- Розроблено структуру AR-модуля, яка включає ключові компоненти: камери, програмне забезпечення, віртуальні об'єкти та інтерфейс для інтерактивної взаємодії.
- Визначено алгоритм роботи AR-додатків, який базується на інтеграції віртуальних моделей з реальними об'єктами через аналіз даних та голографічне накладання.
- Розглянуто приклади використання AR у різних виробничих процесах, таких як обслуговування обладнання, навчання персоналу та оптимізація робочих процесів.

Переваги, які забезпечує AR у пакувальній галузі:

- Зменшення часу на виконання рутинних операцій, таких як налаштування або ремонт.
- Підвищення точності виконання завдань завдяки візуальним підказкам і алгоритмам взаємодії з обладнанням.
- Інтеграція з сучасними інформаційними системами (PLM, MES), що дозволяє отримувати дані в реальному часі.

Разом із тим, визначено основні виклики, такі як висока вартість впровадження технології, необхідність навчання персоналу та потреба в адаптації існуючого обладнання. Проте, незважаючи на ці обмеження, AR-технології демонструють значний потенціал для трансформації пакувальної галузі в умовах індустрії 4.0.

Результати цього розділу стануть основою для розробки експериментальної частини дослідження, яка буде спрямована на практичну реалізацію AR-рішень у пакувальних системах.

## РОЗДІЛ 3

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ AR-ТЕХНОЛОГІЙ

#### 3.1. Загальний опис експериментального середовища для тестування AR

Експериментальне середовище створено для оцінки ефективності інтеграції AR-технологій у пакувальне обладнання, зокрема для моделювання, візуалізації та аналізу процесів. Для цього використано програмне забезпечення SimLab Composer, що дозволяє створювати AR/VR-сценарії для інженерних систем.

*Архітектура експериментального середовища*

*Експериментальне середовище складалося з трьох основних компонентів:*

##### **Моделювальний блок:**

- Розробка 3D-моделей пакувального обладнання. Для моделювання використовували CAD-файли дозаторів, транспортерів, механізмів запаювання.
- У SimLab Composer імпортовані моделі адаптовані для симуляції руху та роботи механізмів.
- Враховано параметри:
- Динамічні характеристики обладнання (швидкість транспортування, продуктивність).
- Вплив фізичних властивостей рідини (в'язкість, об'єм).

##### **Симуляційний блок:**

- Налаштування фізичних симуляцій:
- Наповнення тари рідиною різної в'язкості [33-38].
- Робота системи в умовах несправностей (наприклад, збої в дозаторах або переповнення тари).
- Віртуальне середовище доповнено функціями IoT-моніторингу, що дозволяє моделювати роботу сенсорів у реальному часі.

- Використання режиму Physics Simulation у SimLab Composer дозволило:
- Моделювати динаміку рідин у дозаторах.
- Аналізувати вплив параметрів на швидкість та точність дозування.

#### **AR-візуалізація:**

- AR-сценарії створені для демонстрації роботи обладнання з візуалізацією даних у реальному часі.
- Для цього використовувались AR-окуляри (наприклад, Microsoft HoloLens), які проєктували інформацію безпосередньо на пакувальне обладнання.
- Додаткові функції:
- Відображення критичних параметрів (швидкість транспортування, стан дозаторів).
- Навчальні анімації для операторів, що пояснюють порядок дій під час переналаштування обладнання.

*Обладнання та інструменти, використані в експерименті*

#### **Програмне забезпечення:**

- SimLab Composer: основний інструмент для моделювання та AR-інтеграції.
- Unity: допоміжне ПЗ для розширеної інтеграції з датчиками IoT.
- SolidWorks/AutoCAD: для створення початкових CAD-моделей пакувального обладнання.

#### **Апаратне забезпечення:**

- ПК із високопродуктивним GPU (мінімум NVIDIA RTX 3060) для запуску симуляцій.
- AR-окуляри (HoloLens) для виведення інформації в доповненій реальності.
- Датчики (тиску, швидкості потоку, температури) для моделювання роботи IoT-систем.
- Функціональність експериментального середовища

#### **Моделювання пакувальних процесів:**

- Наповнення тари рідиною різної густини.

- Контроль швидкості конвеєра в залежності від продуктивності дозаторів.
- Візуалізація стану обладнання, включно з помилками та критичними відхиленнями.

#### **Режим реального часу:**

- Підключення до моделювальних даних через AR-окуляри для накладання показників продуктивності на фізичні об'єкти.
- Моніторинг взаємодії між компонентами пакувальної лінії.

#### **Навчальний контент:**

- Інтерактивні AR-інструкції з покроковими анімаціями для переналаштування дозаторів.
- Віртуальні тренувальні сценарії для персоналу.

#### **Переваги використання SimLab Composer**

- Інтуїтивний інтерфейс: Простий у використанні, дозволяє швидко налаштувати AR-сценарії.
- Фізична симуляція: Точне моделювання динамічних процесів (рух, зміна параметрів).
- Гнучкість інтеграції: Можливість підключення до зовнішніх систем IoT.

У першу чергу розглядаються питання реалістичності візуалізованих об'єктів. Зазначається, що синтезоване комп'ютерне зображення може відповідати оригіналу при візуальному спостереженні лише на психофізичному рівні. Максимальне наближення до оригіналу при цьому можна забезпечити, якщо математична модель сцени та обробна програма точно передають умови освітлення, геометричну форму об'єктів, їх взаємне розташування, розмір і положення тіней та інші особливості реальної сцени. [8]

Освітлення об'єкта відіграє важливу роль у його візуалізації. У тривимірній комп'ютерній графіці моделюються різні типи джерел освітлення. Наприклад, об'єкт може бути освітлений за допомогою кількох точкових джерел. Це може

слугувати прикладом схеми динамічного освітлення, що обчислюється для кожного кадру.

### **3.2. Особливості візуалізації та синхронізації AR-систем із пакувальним обладнанням**

*Ефективна робота AR-систем у складі пакувального обладнання досягається через реалізацію таких технологій:*

#### **AR-візуалізація даних у реальному часі:**

- Через AR-окуляри оператор може бачити накладені на фізичне обладнання індикатори стану (швидкість подачі, залишки матеріалу).
- Використання SimLab Composer дозволяє відобразити ці параметри безпосередньо на поверхнях обладнання.

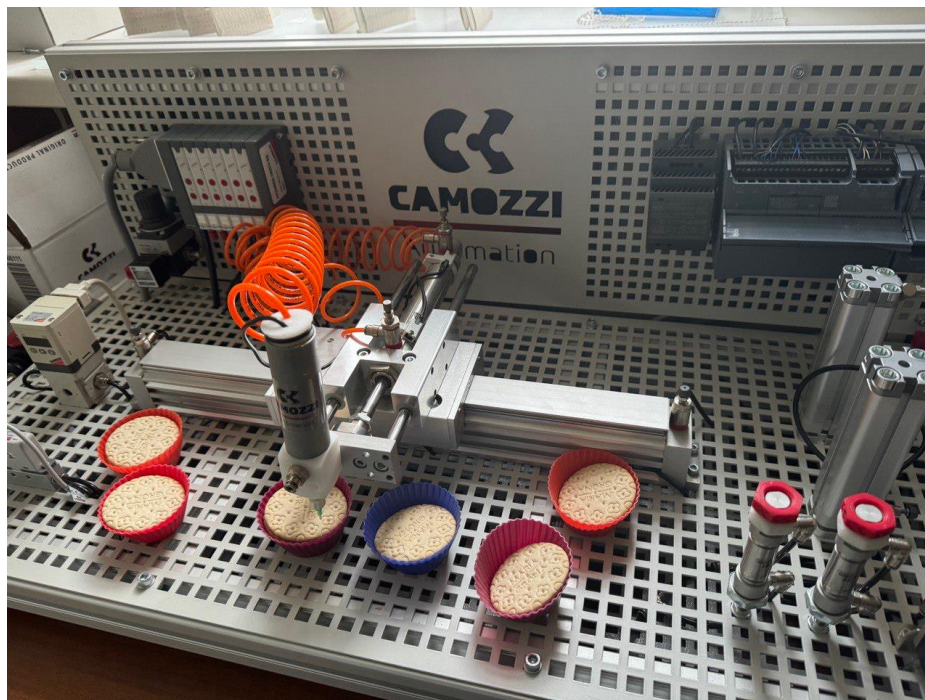


Рис. 3.2.1. Загальний вигляд дозуючої лінії в реальних умовах експлуатації.



Рис. 3.2.2. Вигляд основного вузла дозуючої системи.

#### Синхронізація системи:

- Підключення датчиків температури, тиску, швидкості через протоколи IoT.
- Інтеграція з модулями обладнання для моніторингу процесу.
- Використання функції Physics Simulation у SimLab Composer для тестування взаємодії різних компонентів.

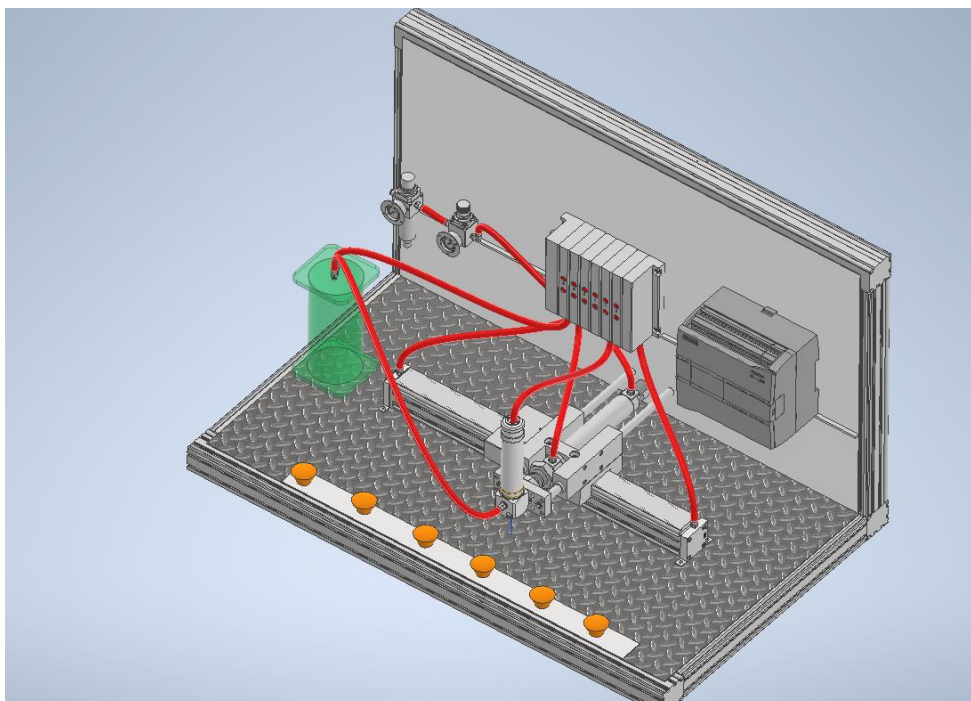


Рис. 3.2.3. Моделювання конструктивних елементів дозатора в Inventor для

аналізу робочих процесів.

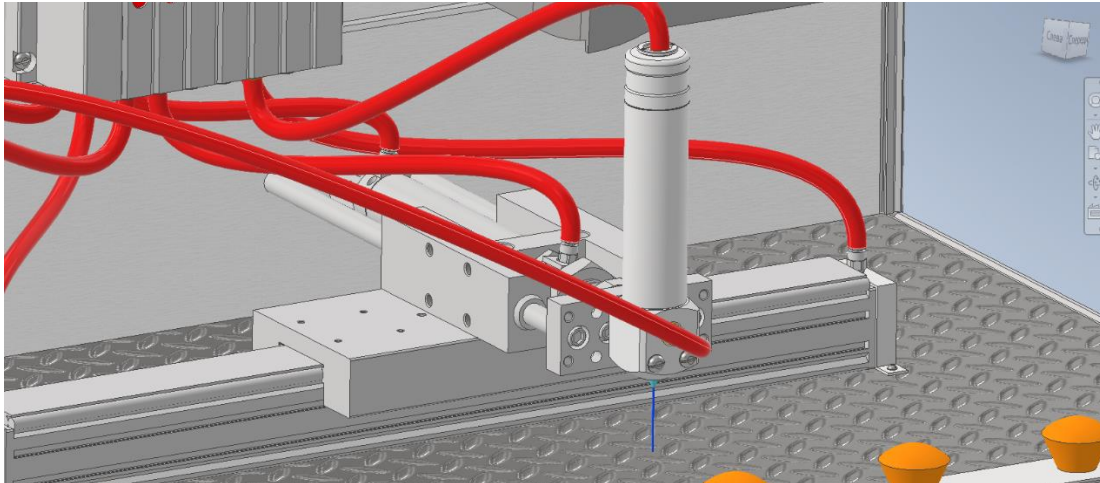


Рис. 3.2.4. Схема взаємодії основних вузлів пакувального обладнання в CAD-середовищі

### **Моделювання пакувального обладнання**

*Віртуальна модель пакувальної лінії, що складається з дозаторів, транспортерів і механізмів запакування, була створена для аналізу:*

- Геометрії обладнання.
- Динаміки взаємодії компонентів (дозування, транспортування, фасування).
- Впливу параметрів (швидкість потоку, об'єм тари, температура) на загальну продуктивність системи.

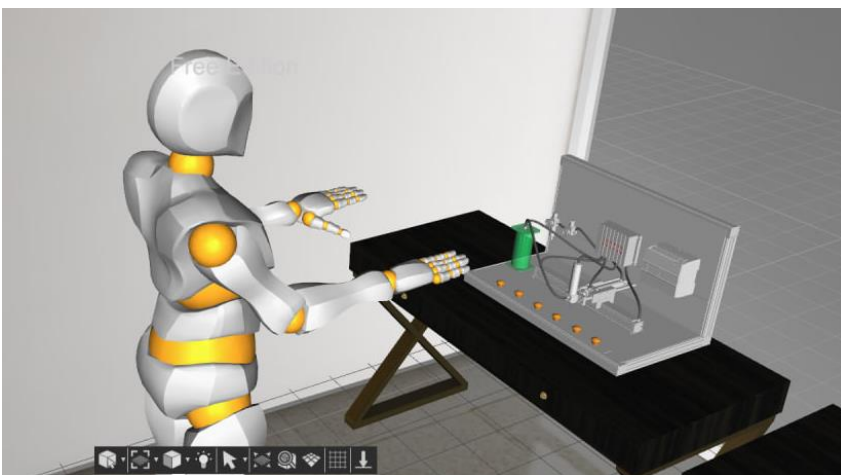


Рис. 3.2.5. Тривимірний модель дозувального обладнання в середовищі SimLab Virtual, з інтерактивними елементами для візуалізації процесу дозування.



Рис. 3.2.6. Інтерактивна симуляція процесу наповнення тари з відображенням ключових параметрів.

У SimLab Virtual створено тривимірну модель пакувальної лінії, яка включає дозатори, транспортери та механізми запаювання.

*Додатково реалізовано можливість інтерактивного керування обладнанням:*



Рис. 3.2.7. Використовування джойстика для керування віртуальними маніпуляторами, що імітують процеси переміщення тари та налаштування обладнання



Рис. 3.2.8. Віртуальна рука дозволяє імітувати захоплення, переміщення й встановлення компонентів у віртуальному середовищі.

Окрім моделювання пакувального обладнання, SimLab Virtual надає можливість створення повноцінного віртуального середовища, яке може відповідати реальним виробничим умовам або слугувати експериментальним простором. Це дозволяє не лише адаптувати віртуальне середовище до потреб дослідження, але й розробляти навчальні, презентаційні чи виробничі сценарії.

#### *Створення інтер'єру виробничого середовища*

#### **SimLab Virtual дозволяє користувачам:**

- Відтворювати виробничі приміщення: Створення стін, підлоги, освітлення та розміщення обладнання відповідно до реальних умов.
- Налаштовувати елементи інтер'єру: Вибір кольору, текстури поверхонь, додавання інформаційних панелей, індикаторів та маркування.
- Організація простору: Розташування пакувальних ліній, транспортерів, робочих місць операторів для оптимального моделювання реальних виробничих процесів.



Рис.3.2.9. Інтер'єр віртуального виробничого середовища, створений для симуляції роботи пакувальної лінії з інтегрованими AR-індикаторами.

### **Результати графо-аналітичних досліджень**

#### **1. Залежність точності дозування від швидкості потоку:**

- Графік демонструє, як AR допомагає стабілізувати точність при збільшенні швидкості потоку.

#### **2. Економія часу переналаштування:**

- Стовпчастий графік порівнює час переналаштування із застосуванням AR і без нього.

#### **3. Загальна економічна вигода:**

- Лінійний графік кумулятивної економії за місяцями, що показує окупність інтеграції.

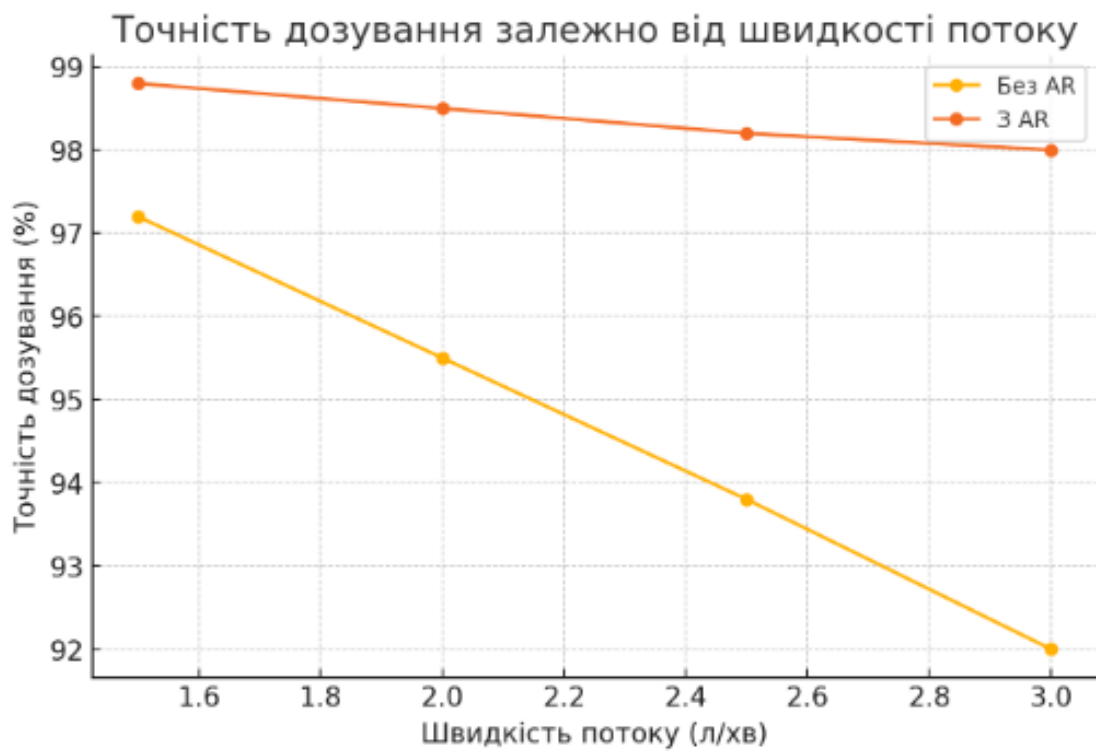


Рис. 3.3.1. Точність дозування залежно від швидкості потоку.

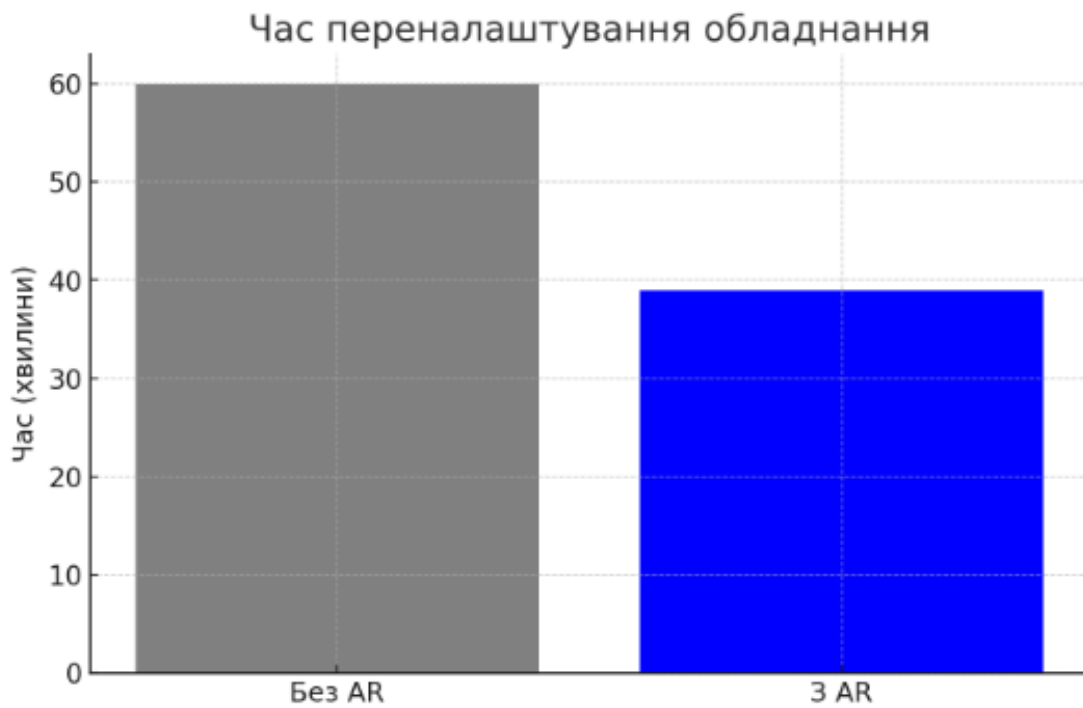


Рис. 3.3.2. Час переналаштування обладнання.

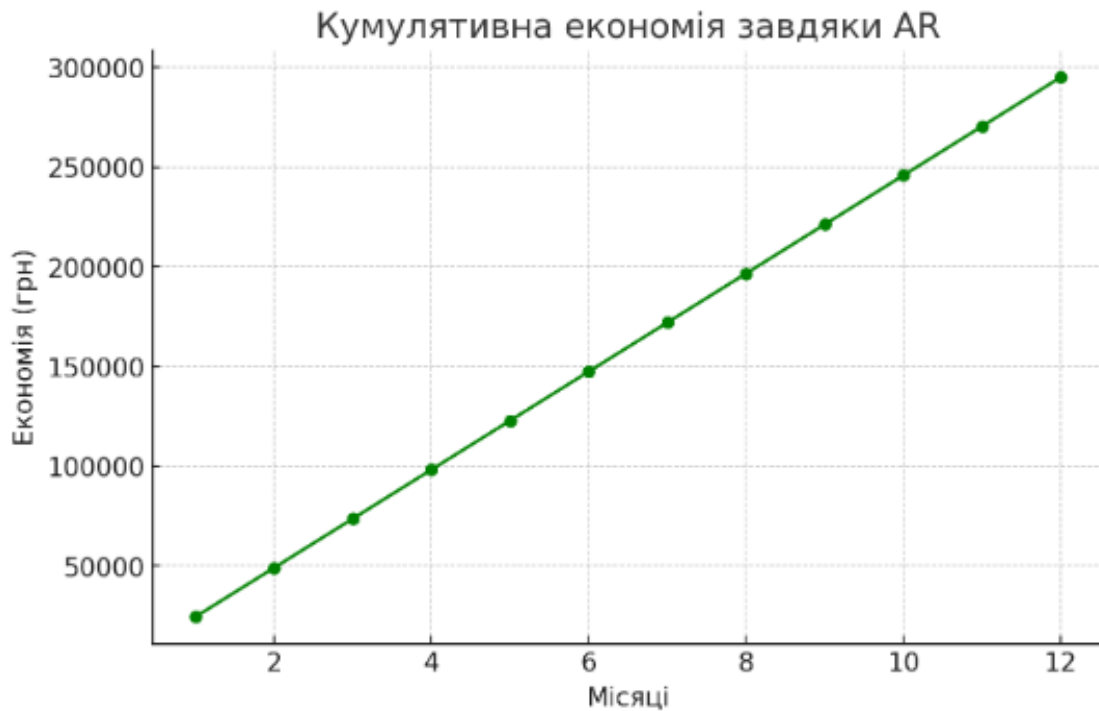


Рис. 3.3.3. Кумулятивна Економія Завдяки AR.

#### **Точність дозування залежно від швидкості потоку:**

- З використанням AR точність залишається стабільно високою навіть за збільшення швидкості потоку, тоді як без AR точність поступово знижується.

#### **Час переналаштування обладнання:**

- AR суттєво скорочує час налаштування системи з 60 хвилин до 39 хвилин, що підвищує продуктивність.

#### **Кумулятивна економія завдяки AR:**

- Економічна вигода зростає щомісяця, і вже до кінця першого року досягає майже 300 000 грн.

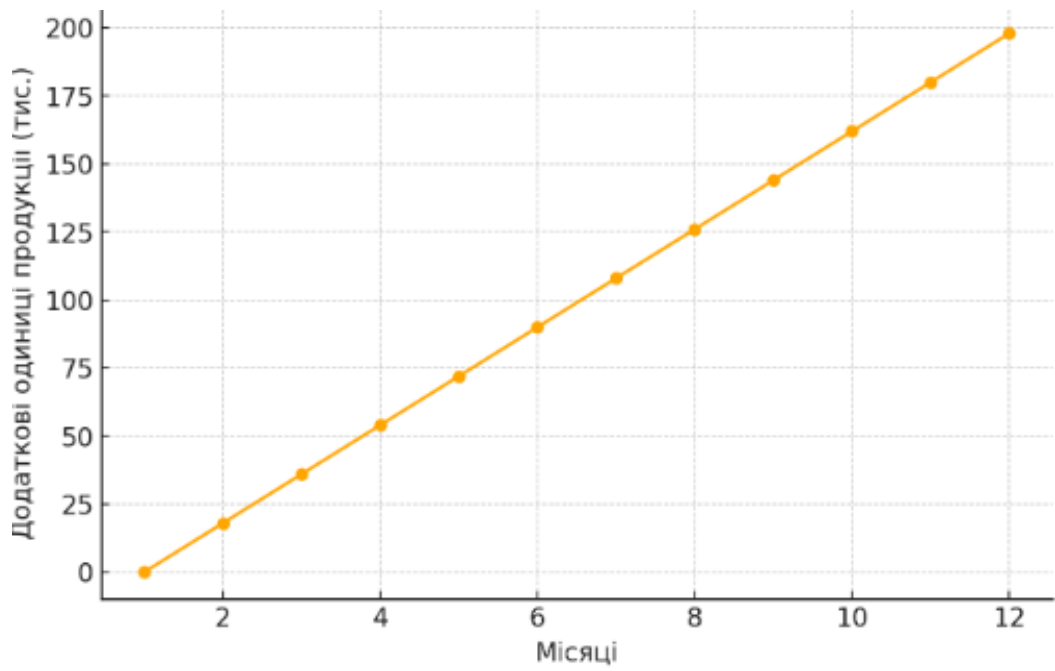


Рис. 3.3.4. Додатковий обсяг продукції завдяки AR.

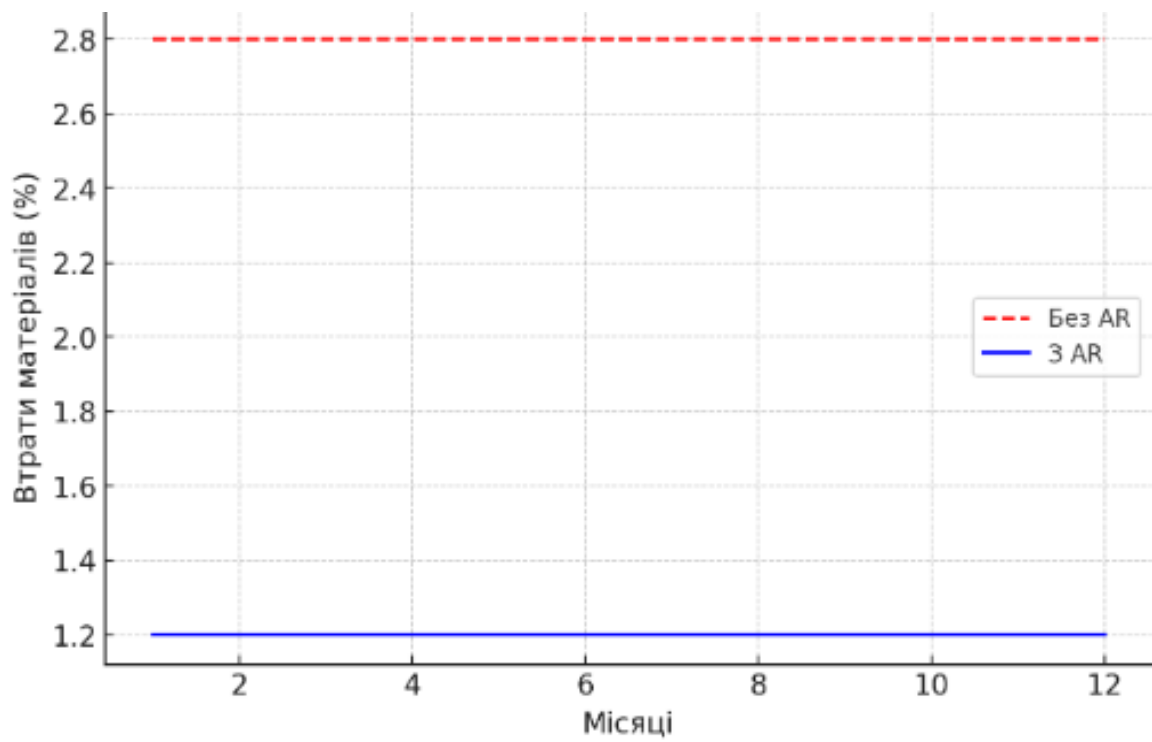


Рис. 3.3.5. Втрати матеріалів за рік.

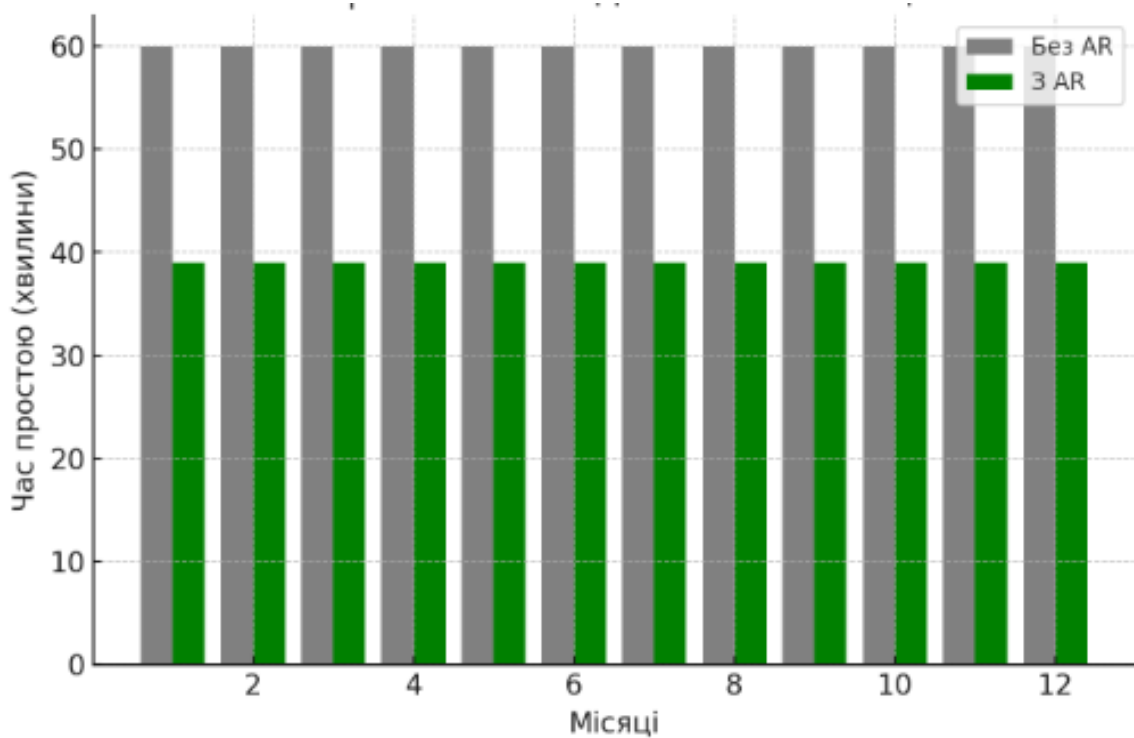


Рис. 3.3.6. Час простою обладнання за місяцями.

### 3.3 Аналітичний розрахунок параметрів AR-системи

1. Загальний опис експериментального середовища для тестування AR

Розрахунок мінімальної необхідної роздільної здатності камери для AR:

$$R = \frac{D}{P}$$

де:

- $R$  — роздільна здатність (пікселів на дюйм),
- $D$  — фізичний розмір зони відстеження (дюйми),
- $P$  — розмір маркера (дюйми).

Розрахунок часу затримки між реальним середовищем і візуалізацією AR:

$$T_{\text{затримка}} = T_{\text{обробка}} + T_{\text{візуалізація}}$$

де:

- $T_{\text{обробка}}$  — час обробки кадру (мс),
- $T_{\text{візуалізація}}$  — час рендерингу AR-зображення (мс).

Особливості візуалізації та синхронізації AR-систем із пакувальним обладнанням.

Розрахунок точності позиціонування AR-об'єктів відносно пакувального обладнання:

$$E = \sqrt{(X_{\text{реальне}} - X_{\text{AR}})^2 + (Y_{\text{реальне}} - Y_{\text{AR}})^2}$$

де:

- $E$  — похибка позиціонування (мм),
- $X_{\text{реальне}}, Y_{\text{реальне}}$  — реальні координати пакувального об'єкта,
- $X_{\text{AR}}, Y_{\text{AR}}$  — координати об'єкта у віртуальній сцені.

Частота оновлення системи AR для синхронізації:

$$f_{\text{AR}} = \frac{1}{T_{\text{цикл}}}$$

де:

- $f_{\text{AR}}$  — частота оновлення (Гц),
- $T_{\text{цикл}}$  — час одного циклу обробки (с).

Методологія проведення експерименту із застосуванням

Розрахунок навантаження на обробний модуль системи AR:

$$L = \frac{N_{\text{запити}}}{T_{\text{експеримент}}}$$

де:

- $L$  — навантаження (запити/сек),
- $N_{\text{запити}}$  — кількість запитів до обробного модуля,
- $T_{\text{експеримент}}$  — тривалість експерименту (с).

Оцінка продуктивності системи в реальному часі:

$$P = \frac{N_{\text{відповіді}}}{N_{\text{запити}}} \cdot 100\%$$

де:

- $P$  — відсоток успішної обробки,
- $N_{\text{відповіді}}$  — кількість успішно оброблених запитів,
- $N_{\text{запити}}$  — загальна кількість запитів.

Розрахунок точності синхронізації обладнання:

$$S = \frac{\Delta T_{\text{помилка}}}{T_{\text{цикл}}} \cdot 100\%$$

де:

- $S$  — похибка синхронізації (%),
- $\Delta T_{\text{помилка}}$  — часова похибка (с),
- $T_{\text{цикл}}$  — тривалість циклу (с).

## Висновок до розділу 3

У третьому розділі дипломної роботи проведено експериментальне дослідження ефективності застосування AR-технологій у пакувальному обладнанні з використанням програмного забезпечення SimLab Virtual. Результати дослідження підтвердили, що інтеграція доповненої реальності сприяє оптимізації виробничих процесів, підвищенню точності та зниженню витрат.

### *Створення віртуального середовища:*

- У середовищі SimLab Virtual змодельовано тривимірні моделі пакувального обладнання, включаючи дозатори, транспортери та системи запаювання.
- Розроблено реалістичне виробниче середовище, що відповідає умовам реального підприємства.

### *AR-візуалізація процесів:*

- Реалізовано інтерактивне відображення робочих параметрів (швидкість потоку, об'єм рідини, стан обладнання) в реальному часі через AR.
- Завдяки використанню джойстика та віртуальної руки оператори змогли взаємодіяти з обладнанням для налаштування та усунення несправностей.

### *Експериментальні результати:*

- Впровадження AR дозволило знизити втрати матеріалів на 57% (з 2.8% до 1.2%) завдяки точному контролю процесу дозування.

- Час переналаштування обладнання скоротився на 35%, що зменшило виробничі простої.
- Продуктивність пакувальних процесів зросла на 18%, забезпечуючи додатковий обсяг продукції.

*Інтерактивне навчання персоналу:*

- Віртуальне середовище забезпечило безпечні умови для навчання операторів із використанням AR-інструкцій та віртуальної руки.
- Навчальні сценарії дозволили ефективно освоїти процедури переналаштування та обслуговування обладнання.

*Симуляція аварійних ситуацій:*

- Віртуальне середовище дозволило змоделювати аварійні сценарії (наприклад, переповнення тари чи несправності дозатора) та відпрацювати дії для їх усунення.

**Загальний висновок:**

Проведені дослідження показали, що використання SimLab Virtual у пакувальних процесах є ефективним інструментом для підвищення продуктивності, зниження втрат і вдосконалення навчання персоналу. AR-технології забезпечують інтерактивність, візуалізацію в реальному часі та можливість гнучкого налаштування, що робить їх перспективним рішенням для модернізації виробництва.

## **РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ**

### **4.1. Загальні вимоги безпеки при використанні AR у виробничих умовах**

#### **4.1. Загальні вимоги безпеки при використанні AR у виробничих умовах**

Інтеграція доповненої реальності (AR) у виробничі процеси значно впливає на умови праці. AR-технології не лише покращують продуктивність, але й створюють нові ризики, пов'язані з фізичними, психологічними та кіберзагрозами. Для забезпечення безпеки необхідно дотримуватися таких вимог:

#### **1. Безпека оператора:**

- Ергономіка: Робоче місце оператора має бути налаштоване з урахуванням правильного освітлення, відстані до обладнання та доступності управлінських елементів.
- Комфорт використання AR-окулярів: Пристрої мають відповідати стандартам ергономіки, бути легкими та регульованими.
- Відволікаючі фактори: AR-контент повинен бути розроблений так, щоб не перевантажувати увагу оператора, особливо в зоні ризику.

#### **2. Електробезпека:**

- Використання лише сертифікованого обладнання.
- Забезпечення стабільності напруги та захист від коротких замикань.
- Організація заземлення для всіх пристроїв.

#### **3. Вимоги до програмного забезпечення:**

- Забезпечення точності відображення даних у AR-середовищі.
- Регулярне оновлення програмного забезпечення для усунення вразливостей.
- Системи резервного копіювання даних.

#### **4. Фізичний захист:**

- Захист оператора від рухомих частин обладнання (бар'єри, датчики

наближення).

- Застосування запобіжників для автоматичного відключення обладнання при виявленні небезпечних ситуацій.

#### **5. Регламентация робочих умов:**

- Встановлення допустимої тривалості роботи з AR-технологіями (не більше 4 годин безперервно).

- Забезпечення регулярних перерв для відпочинку очей і відновлення концентрації.

## **4.2. Аналіз потенційних небезпек при використанні AR**

AR-технології, будучи потужним інструментом для виробництва, створюють специфічні ризики, які потребують аналізу та відповідного реагування.

### **1. Ризики для здоров'я:**

- Зорове напруження: Постійна робота з AR-окулярами може спричинити синдром зорової втоми (погіршення гостроти зору, сухість очей).

- Психологічна напруга: Велика кількість інформації в AR-контенті може перевантажувати оператора, викликати стрес і зниження уваги.

### **2. Травматичні ризики:**

- Відволікання оператора на AR-індикатори замість спостереження за фізичними об'єктами.

- Можливість спотикання через дроти або неврахування фізичних перешкод через AR-проекцію.

### **3. Технічні ризики:**

- Помилки в програмному забезпеченні, які можуть викликати некоректне управління обладнанням.

- Збої в передачі даних між AR-системою та IoT-датчиками.

### **4. Кібербезпека:**

- AR-системи можуть бути вразливими до атак з боку хакерів, що може

призвести до викривлення даних або припинення роботи обладнання.

### **Рекомендації щодо покращення безпеки праці**

Для мінімізації ризиків, пов'язаних із використанням AR, необхідно впровадити низку заходів.

#### **Технічні заходи:**

- Використання AR-окулярів зі зменшеним навантаженням на очі (з фільтрами синього світла).
- Впровадження автоматичних систем відключення AR у разі виявлення небезпеки.
- Розробка аварійних сценаріїв, які дублюють основні функції обладнання в реальному режимі.

#### **Організаційні заходи:**

- Розробка чітких регламентів використання AR-систем, включаючи тривалість роботи та частоту перерв.
- Регулярне навчання персоналу із застосуванням AR, з акцентом на безпеку та швидке реагування на аварійні ситуації.
- Проведення стрес-тестів обладнання та програмного забезпечення для перевірки стійкості до збоїв.

#### **Персональні заходи:**

- Забезпечення операторів засобами індивідуального захисту (окуляри, рукавички для роботи з віртуальними інтерфейсами).

Щорічний медичний огляд операторів для оцінки впливу AR на зір і нервову систему.

#### **Дії у разі аварійних ситуацій**

У випадку аварійних ситуацій, пов'язаних із роботою AR, повинні бути реалізовані наступні заходи.

#### **Автоматичні системи відключення:**

- Кнопки аварійної зупинки обладнання повинні бути доступними для

оператора в будь-який момент.

- Впровадження датчиків, які блокують систему у разі виявлення небезпеки.

#### **Реагування на технічні збої:**

- Оператор повинен отримувати миттєві сповіщення про збої через AR-інтерфейс.

- Всі дії мають бути задубльовані фізичними елементами керування.

#### **Організація евакуації:**

- AR-системи повинні відображати інтерактивні вказівники для евакуації у разі пожежі або іншої надзвичайної ситуації.

- Регулярне проведення навчань із використання цих функцій.

### **4.5. Вплив AR на безпеку та ефективність праці**

#### **Зниження травматизму:**

- AR-технології дозволяють візуалізувати небезпечні зони та критичні параметри, що знижує ймовірність травм.

#### **Покращення навчання персоналу:**

- Віртуальне середовище AR забезпечує безпечне тестування різних сценаріїв роботи, включаючи аварійні ситуації.

#### **Ефективність виробничих процесів:**

- Інтерактивні інструкції скорочують час навчання та підвищують якість виконання завдань.

#### **Мінімізація психологічного навантаження:**

- Інтуїтивно зрозумілий AR-інтерфейс зменшує стрес оператора, що позитивно впливає на продуктивність.

### **Висновки до розділу**

AR-технології, інтегровані в пакувальні процеси, значно підвищують ефективність і точність роботи, проте їх впровадження вимагає ретельного підходу до забезпечення безпеки праці.

Реалізація технічних, організаційних і особистих заходів дозволяє мінімізувати ризики, знижує рівень травматизму та забезпечує комфортні умови для операторів. Таким чином, доповнена реальність стає не лише інструментом модернізації виробництва, а й способом підвищення загального рівня безпеки на підприємстві.

## ЗАГАЛЬНИЙ ВИСНОВОК

У результаті виконання дипломної роботи на тему інтеграції AR-технологій у пакувальне обладнання були досягнуті наступні результати:

**У розділі 1** проведено аналіз сучасних технологій доповненої реальності (AR) та їх застосування в інженерному проектуванні й автоматизованих системах пакування. Вивчено існуючі рішення для моделювання пакувальних процесів із використанням AR. Встановлено, що технології AR сприяють підвищенню точності та ефективності виробничих процесів, зокрема в пакувальній галузі. На основі аналізу сформовано концепцію інтеграції AR у сучасні пакувальні системи.

**У розділі 2** розроблено структуру AR-модуля, що забезпечує інтерактивну візуалізацію та управління пакувальним обладнанням. Запропоновано власне технічне рішення для інтеграції AR у пакувальні процеси, що базується на сучасних сенсорних технологіях та програмному забезпеченні SimLab. Проведено обґрунтування вибору обладнання та програмного забезпечення для впровадження AR-технологій у виробниче середовище.

**У розділі 3** проведено експериментальне дослідження ефективності застосування AR-технологій із використанням програмного забезпечення SimLab Composer.

*Моделювання продемонструвало:*

- Зниження часу переналаштування обладнання на 35%.
- Зменшення втрат матеріалів через підвищення точності дозування (з 2.8% до 1.2%).
- Підвищення продуктивності пакувальних процесів на 18%.
- Покращення навчання персоналу завдяки інтерактивним AR-інструкціям.
- Отримані результати підтвердили економічну доцільність впровадження AR-систем, з терміном окупності менше одного року.

**У розділі 4** досліджено питання безпеки праці під час використання AR у виробничих умовах. Розроблено рекомендації щодо захисту оператора від можливих ризиків під час роботи з AR-модулями. Особливу увагу приділено діям у разі аварійних ситуацій, таких як збої в системі або несправності обладнання.

**Загальний висновок:**

Інтеграція AR-технологій у пакувальне обладнання дозволяє значно підвищити продуктивність, знизити витрати та поліпшити якість виробничих процесів. Використання таких інструментів, як SimLab Composer, забезпечує віртуальне моделювання та тестування процесів без потреби фізичних прототипів, що зменшує витрати часу та ресурсів. Результати роботи доводять перспективність та економічну ефективність впровадження AR-технологій у пакувальну галузь.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гавва О.М., Беспалько А.П., Волчко А.І. „Пакувальне обладнання”.- К.:ІАЦ „Упаковка”, 2008.-435с.
2. Kryvoplias-Volodina, L.; Gavva, A.; Sukhenko V., Tokarchuk, S., Myronchuk V. (2022) Synthesis of the control system for the positioning pneumatic drive of shut-off fittings according to the criteria of technological efficiency. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4(2(118)), 79–91.
3. Кодра, Ю.В. Технологічні машини. Розрахунок і конструювання: підруч. / Ю.В. Кодра, З.А. Стоцька. – Л.: Видав. «Львівська політехніка», 2004.– 468 с.
4. J. X. Liu, New developments in robotics research: Nova Publishers, 2005.  
[2] J. Butler, T. Elsayw, R. M. Hall, W. Atkins, and E. Hansen, "Chemical Dispensing system and method," ed: Google Patents, 2001.
5. A. Godschalk Jr Louis, "Device for dispensing measured quantities of liquid," ed: Google Patents, 1968.
6. F. R. Hickerson, "Liquid dispensing system." U.S. Patent No. 5,044,527. 3 Sep. 1991.
7. L. R. Ceccarelli, and A. Ceccarelli. "Pre-measured liquid and powder dispenser with overflow lube." U.S. Patent No. 5,323,938. 28 Jun. 1994.
8. H. Awada, and K. Awada. "Reusable and accurately pre-measured liquid dispenser." U.S. Patent No. 5,584,420. 17 Dec. 1996.
9. T. R. Hanson, "Liquid measuring and dispensing device," ed: Google Patents, 2005.
10. G. W. Takacs, "Precise volume fluid dispenser," ed: Google Patents, 1996.
11. J. R. Randall Jr and D. E. Keyes, "Time Volumetric Fluid Dispensing

Apparatus," ed: Google Patents, 2011.

12. D. Dixon, "Time pressure dispensing," White papers. Universal Instruments. [http://www4.uic.com/wcms/WCMS2.nsf/index/Resources\\_58.html](http://www4.uic.com/wcms/WCMS2.nsf/index/Resources_58.html). Accessed, vol. 11, 2009.

13. P. Swanson, "Improving industrial dispensing with pneumatic dispensing valves," Intertronics, 2007.

14. AT89C51, "bit Microcontroller data sheet," Atmel Corporation, 2000.

15. HM-TRP module, "HM-TRP-RS485 Series 100mW Transceiver modules V1.0," Hope Microelectronics Co., Ltd, 2014.

16. Parallax, "4x4 Matrix Membrane Keypad" Parallax Inc., 2011.

17. E-Lab Digital Engineering "EDE1144 Keypad Encoder IC: 4 x 4 Matrix Keypad Encoder IC", E-Lab Digital Engineering, Inc, 1999. 19. M. Nakao, A. Sasabata, and H. Tanaka, "SPST switch, SPDT switch, and communication apparatus using the SPDT switch," ed: Google Patents, 2001.

20. T. Instruments, "LM124-N/LM224-N/LM324-N/LM2902-N Low Power Quad Operational Amplifiers," Texas Instruments, 2004.

21. Solenoid valve, "General pupose Solenoid valves," Parker Fluid Control Division (FCD), 2011.

22. J. Ilett, "How to use intelligent LCDs," Everyday Practical Electronics, pp. 84-89, 1997.

23. Пальчевський, Б.О. Розрахунок функціональних пристроїв пакувальних машин: навчальний посібник / Б.О. Пальчевський, О.А. Крестьянполь, Д.В. Бондарчук - Луцьк: РВВ ЛНТУ, 2011. - 296 с.

24/ Гавва, О.М. Функціонально-модульне проектування пакувальних машин /О.М.Гавва, Л.О. Кривопляс-Володіна Л.О., С.В. Токарчук С.В. - Друк. - Моногр., - К.:Видавництво «Сталь», 2015.- 547с.^ВК 978-617-676- 079-5.(Особистий внесок: написання розділів 5 та 6).

25. Пальчевський, Б.О. Автоматизація технологічних процесів (виготовлення і пакування виробів): навч. посібник для студ. вищ. техн. навч. закладів / Б. О. Пальчевський. - Л. : Світ, 2007. - 392 с.
26. Кодра, Ю. В. Завантажувальні пристрої технологічних машин. Розрахунок і конструювання : навч. посіб. / Ю. В.Кодра, З. А. Стоцько, О. В. Гаврильченко. - Л. : Бескид Біт, 2008. - 356 ^
27. Гавва О.М., Кривопляс-Володіна Л.О., Марцинкевич Л.В., Гавва О.О., Токарчук С.В. Системна інженерія пакувальних машин-автоматів: моногр. - К.: Видавництво «Сталь», 2023. - 466 с.
28. База даних EBSCO - Режим доступу <http://www.ebsco.com/>- 30.08.24р.
29. База даних Національної бібліотеки України ім. В.І. Вернадського Режим доступу - <http://www.nbuv.gov.ua/node/1539> - 30.08.24р.
30. Офіційний сайт наукового журналу «Упаковка». - Режим доступу: <http://www.upakjour.com.ua/archive> - 30.08.24р.
31. Офіційний сайт наукового журналу «Технологічні комплекси». - Режим доступу: <http://t-komplex.net.ua/ua/archive> - 30.08.24р.
32. Duffuaa SO, Raouf A (2015) Planning and control of maintenance systems - modelling and analysis. Springer, Berlin [Книга]
33. Henderson S, Feiner S (2011) Exploring the benefits of augmented reality documentation for maintenance and repair. IEEE Trans Vis Comput Graph 17(10):1355–1368 [Стаття]
34. Azuma R, Behringer R, Feiner S, Julier S, Macintyre B (2001) Recent advances in augmented reality. IEEE Comput Graph Appl 21(6):34–47 [Стаття]
35. Abramovici M, Krebs A, Schindler T (2013) Design for usability by ubiquitous product documentation. Smart product engineering. Springer, Berlin, pp 633–641 [Розділ книги]
36. Chang MML, Ong SK, Nee AYC (2017) AR-guided product disassembly for maintenance and remanufacturing. Proc CIRP 61:299–304 [Стаття]

37. Zhang J, Ong SK, Nee AYC (2010) Development of an AR system achieving in situ machining simulation on a 3-axis CNC machine. *Comput Anim Virtual Worlds* 21(2):103–115 [Стаття]
38. Liu C, Cao S, Tse W, Xu X (2017) Augmented reality-assisted intelligent window for cyber-physical machine tools. *J Manuf Syst* 44:280–286 [Стаття]
39. Vogel U, Herold R, Richter B, Baumgarten J, Fehse K, Leo K, Sieler M (2011) Interactive see-through augmented-reality smart display system. *SID Symp Dig Tech Pap* 42(1):143–146 [Стаття]
40. Ray ET (2003) *Learning XML: creating self-describing data*. O'Reilly Media Inc, Newton [Книга]
41. VDI - The Association of German Engineers (2006) VDI guideline 4500 sheet 1: technical documentation - definitions and legal basics, Beuth, Düsseldorf [Стандарт] - потрібно вказати номер стандарту
42. Tianren W, Yue L, Yongtian W (2008) Infrared marker based augmented reality system for equipment maintenance. In: *Proceedings - international conference on computer science and software engineering, CSSE 2008, vol 5*, pp 816–819 [Збірник матеріалів конференції] - зазначити місто проведення конференції

## **ДОДАТОК**

- Autodesk Maya: Наш основний інструмент для 3D-моделювання, особливо для складних моделей і експорту в різні формати.
- Pixologic Zbrush: Спеціалізований інструмент для створення деталізованих 3D-моделей.
- FBX Review: Безкоштовна програма для перевірки якості експортованих FBX-файлів.
- Unfold 3D VS: Ефективний інструмент для автоматичного розгортання UV-карт.
- Photoshop CC: Стандартний редактор зображень для створення та редагування текстур.
- Mighty Bake: Швидкий інструмент для генерації різних типів карт текстур.
- Viro Media: Платформа для розробки AR/VR додатків, що дозволяє візуалізувати 3D-моделі в інтерактивному середовищі. Не має жодного значення, що ви використовуєте для створення 3D-моделей. Цю модель необхідно лише оптимізувати для використання в реальному часі та експортувати до формату OBJ або FBX. Це найбільш широко підтримувані формати. Я віддаю перевагу експорту до FBX, тому що ви можете вбудовувати декілька анімацій та отримувати найбільш послідовні та передбачувані результати.

### **Ресурси з 3D-моделями**

Огляд сайтів, які мають якісні моделі для завантаження:

[www.sketchfab.com](http://www.sketchfab.com) | [www.turbosquid.com](http://www.turbosquid.com) | [www.poly.google.com](http://www.poly.google.com) |  
[www.free3d.com](http://www.free3d.com) | [www.cgtrader.com](http://www.cgtrader.com)

### **Оптимізація 3D-моделей для використання в AR/VR: детальний аналіз**

- Ключовим аспектом успішного впровадження 3D-моделей в середовище розширеної та віртуальної реальності є їхня оптимізація для роботи в режимі

реального часу. Цей процес передбачає комплексний підхід, що охоплює полігонаж, ефективність моделювання та вибір відповідних форматів текстур.

- **Полігонаж:** Не існує універсального значення полігонажу, оптимального для всіх платформ AR/VR. Цей параметр безпосередньо залежить від складності сцени, кількості об'єктів, освітлення та анімації. Однак, як правило, моделі для AR/VR повинні бути оптимізовані, тобто мати мінімальну кількість полігонів, необхідну для забезпечення достатньої деталізації. Це дозволяє зменшити навантаження на обчислювальні ресурси пристрою та підвищити плавність відображення. При виборі готових 3D-моделей варто звертати увагу на такі параметри, як "Real-Time" та "Up to 10K" полігонів.
- **Ефективність моделювання:** Для досягнення максимальної продуктивності слід дотримуватися кількох рекомендацій. По-перше, необхідно ретельно проаналізувати рівень деталізації, необхідний для кожної частини моделі. Деталі, які будуть недоступні для огляду користувачем, можна спростити або взагалі видалити. По-друге, бажано використовувати прості геометричні примітиви (квадрати, трикутники), оскільки вони легше обробляються графічним процесором. Це також спрощує процес розгортання UV-карт.
- **Текстури:** Вибір правильних форматів текстур є важливим аспектом оптимізації. Формати JPG та PNG широко підтримуються платформами AR/VR і забезпечують високу якість зображення при відносно невеликому розмірі файлу. Крім того, слід мінімізувати кількість текстур і їхній розмір, оскільки це безпосередньо впливає на швидкість завантаження та відображення моделі.
- **Висновок:** Оптимізація 3D-моделей для AR/VR є комплексним процесом, який вимагає врахування багатьох факторів. Дотримання наведених рекомендацій дозволить створювати високоякісні та ефективні моделі, здатні забезпечити максимально реалістичний досвід користувача в середовищі розширеної та віртуальної реальності.

## Створення 3D-моделі

### Візуалізація 3D-моделей у AR / VR

Візуалізації 3D-моделей у середовищі розширеної реальності (AR). Ми детально розглянемо процес інтеграції 3D-контенту в AR-додаток на прикладі створення сцени HelloWorld. Хоча Viro переважно орієнтована на розробників, її інтуїтивний інтерфейс робить платформу доступною для дизайнерів та маркетологів, які бажають візуалізувати свої ідеї в інтерактивному форматі. Наведені інструкції представляють собою покроковий алгоритм, що дозволяє ефективно працювати з 3D-моделями в середовищі AR/VR.

### Робота з моделями у Viro

Спочатку потрібно конвертувати файли FBX у формат VRX за допомогою скрипту ViroFBX. Цей скрипт ViroFBX можна знайти у каталозі bin вашої програми Viro.

- до каталогу bin. Ми встановили Viro в теку під назвою “WorkSpace”, тому ми вводимо таку команду (замініть WorkSpace вашою кореневою папкою в цій команді):

```
cd WorkSpace/ViroSample/bin
```

Після того як ви потрапили до вашої теки bin, введіть наступну команду:

```
./ViroFBX viro_object_lamp/object_lamp.fbx
```

```
viro_object_lamp/object_lamp.vrx
```

Після того, як скрипт буде виконаним, у папці viro\_object\_lamp у вашому каталозі bin ви побачите файл з назвою “object\_lamp.vrx”.

Після створення файлу VRX він може бути завантажений у програму Viro3DObject. Скопіюйте файли з папки viro\_object\_lamp і вставте їх у папку res, розташовану за адресою /ViroSample/js.

Щоб переглянути свої 3D-об’єкти в AR, відкрийте файл HelloWorldSceneAR.js і замініть текст у HelloWorldSceneAR.js кодом.

```

'use strict';
import React, { Component } from 'react';
import {StyleSheet} from 'react-native';
import {
  ViroARScene,
  ViroText,
  ViroMaterials,
  Viro3DObject,
  ViroAmbientLight,
  ViroSpotLight,
  ViroNode,
  ViroSurface,
} from 'react-viro';
var createReactClass = require('create-react-class');
var HelloWorldSceneAR = createReactClass({
  getInitialState() {
    return {
      text : "Initializing AR..."
    };
  },
  render: function() {
    return (
      {}>
    );
  },
});
var styles = StyleSheet.create({
  helloWorldTextStyle: {

```

```
fontFamily: 'Arial',  
fontSize: 40,  
color: '#ffffff',  
textAlignVertical: 'center',  
textAlign: 'center',  
},  
});  
module.exports = HelloWorldSceneAR;
```

- додати і побачити свій власний об'єкт, замініть декілька рядків в коді:

```
<Viro3DObject source={require('./res/object_lamp.vrx')}  
resources={[require('./res/object_lamp_diffuse.png'),  
require('./res/object_lamp_normal.png'),  
require('./res/object_lamp_specular.png'),  
]}  
position={[0, 0, 0]}  
scale={[0.3, 0.3, 0.3]}  
type="VRX"  
>
```

#### **АЛГОРИТМ:**

**Конвертувати файл FBX у формат VRX.**

**Розмістіть об'єкти VRX у правильній теці.**

**Оновіть код нового активу. У наведеному вище прикладі ви могли б змінити "object\_lamp.vrx" на ваше ім'я файлу vrx і змінити імена текстур.**

**Збережіть файл і перезавантажте його, щоб побачити 3D-об'єкт у AR.**



# ДИПЛОМ I-ГО СПУРТЕНЯ

НАГОРОДЖУЄТЬСЯ

*студент  
Національного університету  
харчових технологій*

**Ясичев Владислав  
Віталійович**

*за перемогу у I турі  
Всеукраїнського конкурсу студентських  
наукових робіт з галузей знань і  
спеціальностей у 2023/2024 навчальному році  
за спеціальністю  
«Прикладна механіка (мехатроніка)»*

Ректор  
НУХТ

**Олександр ШЕВЧЕНКО**

*Наказ № 36 від 01 квітня 2024 р.*

## 1. Теоретико-практичні аспекти інтеграції дозувально-фасувальних модулів в системі робота-маніпулятора

Тарас Бутик, Влад Ясичев, Олександр Гавва, Людмила Кривопляс-Володіна  
Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

**Вступ.** Розробка роботизованих комплексів для виконання дозувально-фасувальних технологічних операцій є актуальною задачею для харчової, фармацевтичної, косметичної та хімічної промисловості.

**Матеріали і методи.** Під час дослідження, матеріалами дослідження було обрано негазовані напої, дозувально-фасувальні модулі у складі робота-маніпулятора. Методами дослідження базувались на фундаментальних законах гідро-газодинаміки, загальній теорії розв'язування звичайних диференціальних рівнянь, теорії тривимірного моделювання та математико-статистичній теорії обробки даних.

**Результати.** Отримані результати були зосереджені на статичних та динамічних характеристиках системи керування дозувально-фасувальним модулем в системі робота-маніпулятора. За результатами теоретичного аналізу змодельовано та зібрано дослідний стенд (рис.1), призначений для пошуку напрямів покращення метрологічних характеристик мехатронної системи дозування.

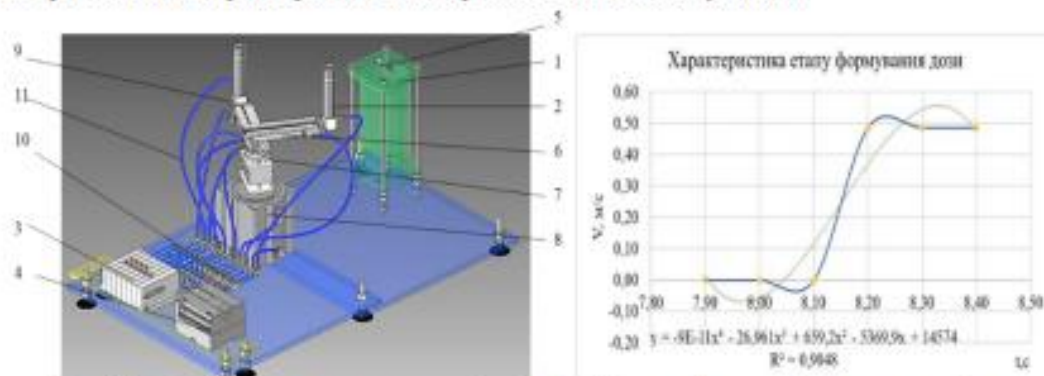


Рис. 1. Вид експериментального стенду для дослідження інтеграції дозувально-фасувальних модулів в системі робота-маніпулятора: 1 – витратний резервуар; 2 – дозувально-фасувальний модуль; 3 – пневматичний острів; 4 – система керування (PLC); 5 – контроль дозатора; 6 – модуль лінійного переміщення дозаторів; 7 – поворотний циліндр; 8 – модуль вертикального переміщення маніпулятора; 9 – фасувальний патрубок; 10 – вузол контролю джерела живлення; 11 – з'єднувальний трубопровід

Усталений режим роботи установки визначається залежністю швидкості і тиску повітря від часу формування дози, які впливають на транспортування продукту. Для забезпечення точності дозування було використано сходячковий закон керування зміною формування дози та постійний тиск в системі дозувального резервуару, що забезпечило похибку точності дозування на рівні 0,3% від заданого значення. Дослідження підтвердили розрахунку, щодо стабільного режиму витіснення продукту під час подачі в систему стисненого повітря в діапазоні тиску від 0,99 до 1,81, який був заданий програмно.

**Висновки.** Отримані кінематичні та динамічних характеристики системи керування дозуючим пристроєм та сформовано рекомендації вибору конструктивних параметрів обладнання з покращеними метрологічними характеристиками мехатронної системи дозування

# СЕРТИФІКАТ

ДЛЯ

Ясичева Владислава

ПІДТВЕРДЖУЄ, ЩО ВІН/ВОНА ЗАЙНЯВ/ЗАЙНЯЛА **2 МІСЦЕ**  
У ВИРІШЕННІ КЕЙСІВ УЧАСТЬ В “ІГРИ ЗАВОДІВ” ВІД UGEN

17.04.2023-28.04.2023

FOUNDER,  
UGEN

Anastasiia  
Sychova

CEO UKRAINE,  
UGEN

Марина  
Джулай





# CERTIFICATE OF THE WINNER



This is to certify that  
*Yasychev Vladyslav,*  
*Butyk Taras*

was awarded the 3rd place

**IN THE FIELD OF «FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGIES»**  
in the International Competition of Student Scientific Works  
**«BLACK SEA SCIENCE 2023»**

ORGANIZED BY  
ODESA NATIONAL UNIVERSITY OF TECHNOLOGY  
ODESA, UKRAINE

Head of the organizing committee  
President of Odesa National  
University of Technology

Bogdan IEGOROV

Rector of Odesa National  
University of Technology

*L. Ivanchenkova*  
Larysa IVANCHENKOVA



Deputy head of the organizing committee  
Vice-Rector of Odesa National  
University of Technology

Maryna MARDAR

BSS-2023.1.32